

د/ جمعة محمد داود

١٤٣٣ هـ / ٢٠١٢ م

مبادئ المساحة

Principles of Surveying

د. جمعة محمد داود

Gomaa M. Dawod

النسخة الأولي

١٤٣٣ هـ / ٢٠١٢م


بسم الله الرحمن الرحيم

اتفاقية الاستخدام

للإشارة إلي هذا الكتاب - كمرجع – برجاء إتباع النموذج التالي:

باللغة العربية:
داود ، جمعة محمد ، ٢٠١٢ ، مبادئ المساحة ، مكة المكرمة ، المملكة العربية السعودية.

باللغة الانجليزية:
Dawod, Gomaa M., 2012, Principles of Surveying (in Arabic), Holly Makkah, Saudi Arabia.

مقدمة النسخة الأولي

بسم الله الرحمن الرحيم و الحمد لله العليم القدير الذي وهبني علما ووفقني في حياتي ، والصلاة والسلام علي معلم الأمم و خير البرية محمد بن عبد الله عليه الصلاة و السلام.

أدعو و أبتهل إلي مولاي و خالقي عز و جل أن يتقبل مني هذا العمل لوجهه الكريم فما أردت إلا إرضاؤه تعالي وتحقيقا لقول رسوله الكريم أن عمل ابن ادم ينقطع بعد موته إلا من ثلاث أحدهم: علم ينتفع به.

أردت أن أقدم عملا باللغة العربية عن المبادئ والمفاهيم الأساسية لعلم المساحة والقياس علي سطح الأرض بما يناسب طلاب المرحلة الجامعية ، وربما إن وهبني الله عز و جل عمرا و صحة أن أكمل هذا العمل في كتب آخري أكثر تعمقا وتخصصا في كل فرع من فروع هذا العلم. وأود أن أشير الي تجربتي السابقة في عام ٢٠١٠م لتأليف كتاب باللغة العربية عن تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع (الجي بي أس) وهو موجود مجانا في عدد كبير من مواقع الانترنت. أيضا أود أن أشير الي أن هذا الكتاب ليس عملا مؤلفا في المقام الأول لكن يمكن اعتباره عملا مجمعا للمادة العلمية لكثير من الكتب و المراجع في المساحة سواء باللغة العربية أو اللغة الانجليزية بهدف تقديم شرح مبسط لمبادئ وأساسيات المساحة، مع إضافتي للمسة بسيطة من خبرتي العملية في هذا المجال لأكثر من ربع قرن.

أدعو كل قارئ و كل مستفيد من هذا الكتاب أن يدعو الله تبارك و تعالي أن يغفر لي و لوالدي ، وأيضا ألا يحرمني من رأيه و تعليقاته وتصويباته - فلا يوجد كتاب إلا و به نواقص و أخطاء - سواء عبر البريد الالكتروني أو عبر منتدى الهندسة المساحية في:
http://surveying.ahlamontada.com/

بسم الله الرحمن الرحيم ..... **وقل ربي زدني علما** .... صدق الله العظيم.

جمعة محمد داود
dawod_gomaa@yahoo.com

مكة المكرمة: رجب ١٤٣٣ هـ الموافق مايو ٢٠١٢ م

إهداء

إلي كل مسلم و كل عربي علي سطح الأرض ....

الي روح والدي رحمهما الله و أسكنهما فسيح جناته .....

الي كل أساتذتي الذين تشرفت بالتعلم علي أيديهم ....

الي زوجتي و شريكة عمري د. هدي فيصل .....

الي أولادي وفلذات كبدي مصطفي و محمد و سلمي ....

وأخيرا (إن كان يصح لي أن أتجاوز قدري):

إلي ***مكة المكرمة*** التي شرفني خالقي بالعيش في رحابها لعدة سنوات .....

شكر

أتوجه بالشكر لزميلي بجامعة أم القرى بمكة المكرمة الدكتور أشرف زكريا العبد لتفضله بمراجعة الجزء الأول من الكتاب وإبداء ملاحظاته القيمة.

المحتويات

المحتويات صفحة

المحتويات صفحة

المحتويات	صفحة

المحتويات صفحة

الفصل الأول

تاريخ و أقسام علم المساحة

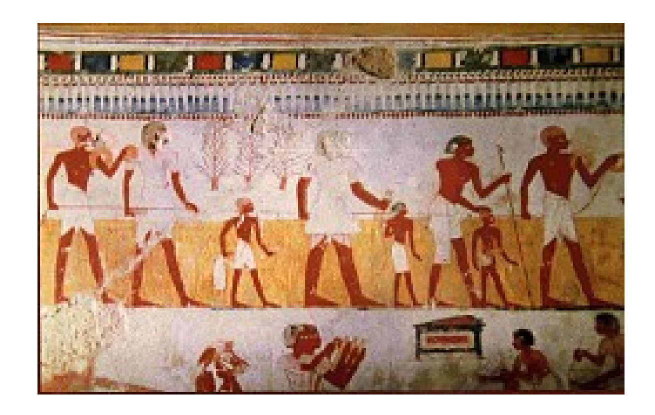
١-١ تعريف المساحة:

يمكن تعريف علم المساحة بأنه علم تحديد المواقع للمظاهر الطبيعية و البشرية الموجودة علي أو تحت سطح الأرض وتمثيل هذه المظاهر علي خرائط تقليدية (مطبوعة) أو رقمية (باستخدام الحاسب الآلي).

أيضا يمكن تعريف علم المساحة بأنه العلم الذي يبحث في الطرق المناسبة لتمثيل سطح الأرض على خرائط. هذا التمثيل يشمل بيان جميع المحتويات القائمة والموجودة على سطح الأرض ، سواء أكانت طبيعية (مثل الهضاب والجبال والصحاري والأنهار والبحار والمحيطات) أو كانت صناعية (مثل الترع والمصارف والقناطر والسدود والطرق وخطوط السكك الحديدية والمنشآت والمباني والمدن وحدود الدول السياسية) ، وكذلك حدود الملكيات الخاصة والعامة. ومن الواجب أن تكون الخريطة صورة صادقة مصغرّة للطبيعة التي تمثلها، وأن تؤدي الغرض الذي عملت من أجله تاما كاملا.

١-٢ تاريخ المساحة:

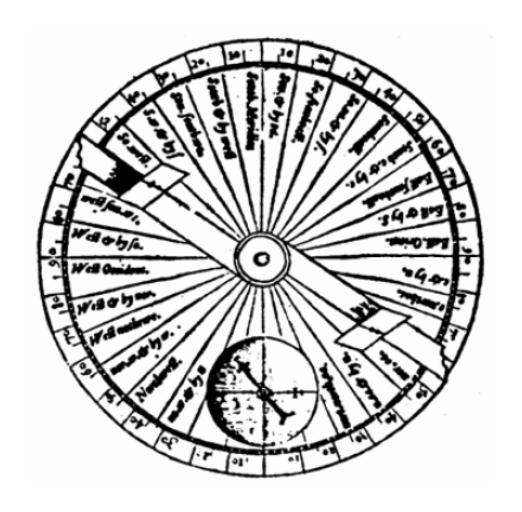
ترجع بدايات علم المساحة إلي آلاف السنين حيث وجدت آثار تدل علي أن قدماء المصريين (ألف و خمسمائة عام قبل الميلاد) قد استخدموا المساحة في قياس و تحديد الملكيات الزراعية وذلك بهدف حساب مساحات الأراضي الزراعية لتقدير الضرائب لها ، وأيضا في إعادة تثبيت علامات حدود الملكيات بعد حدوث فيضان عالي لنهر النيل. وأستخدم المصريون القدماء أدوات بسيطة لقياس المسافات و اخترعوا وحدات لها. وكان يطلق علي العاملين بالمساحة أسم "شادي الحبل" Rope Stretchers حيث كانوا يستخدمون الحبال في قياس المسافات. كما تثبت الخصائص الهندسية لأهرامات الجيزة في مصر (وخاصة تساوي أضلاع الأضلاع بدقة و التوجه الدقيق لجهة الشمال) وكذلك اختيار موقع معبد أبو سمبل في جنوب مصر (بحيث تتعامد أشعة الشمس علي وجه تمثال الملك تحديدا في يوم عيد ميلاده) أن المصريين القدماء كانت لديهم خبرة جيدة بأعمال المساحة.



شكل (١-١) قياسات المساحة في عهد قدماء المصريين

ومن أشهر التجارب المساحية في ذلك العصر ما قام به العالم الإغريقي أرسطوستنيس Eratosthenes - في عام ٢٠٠ قبل الميلاد تقريبا في مدينة الإسكندرية - بمحاولة حساب محيط الأرض والتي كانت بداية علم المساحة الجيوديسية. تلا ذلك ابتكار اليونانيون والرومان لعدد من أجهزة المساحة لعمل التوجيه والتسوية ويعتبر العالم اليوناني هيرون Heron - في عام ١٢٠ قبل الميلاد - الرائد الأول في المساحة والذي حولها إلي علم متخصص يحتاج للدراسة و التدريب.

أضاف علماء المسلمين إضافات علمية قوية لعلم المساحة فقد ابتكروا أجهزة قياس الزوايا والتوجيه مثل جهاز الاسطرلاب والأجهزة الدقيقة للتسوية ، كما برعوا في الرياضيات التي يقوم عليها علم المساحة مثل العالم الكبير الخوارزمي الذي أنشأ أول خريطة دقيقة للعالم عرفت باسم خريطة المأمون.



شكل (١-٢) جهاز الاسطرلاب لقياس الزوايا

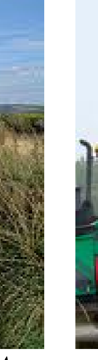
مع بداية القرن الثامن عشر الميلادي بدأ إنشاء شبكات الثوابت الأرضية في أوروبا بهدف إقامة العلامات المساحية التي تسمح بالتحديد الدقيق للمواقع لكل دولة.





شكل (١-٣) نماذج لأجهزة ثيودليت قديمة لقياس الزوايا

تطور علم المساحة بدرجة هائلة في القرن العشرين الميلادي مع ابتكار أجهزة قياس المسافات بالليزر وإطلاق الأقمار الصناعية واختراع الحاسبات الآلية. ومع تعدد تطبيقات علم المساحة في المجالات المدنية و العسكرية علي كافة تخصصاتها بدأ البعض يطلق أسماء جديدة علي هذا العلم مثل علم الجيوماتكس Geomatics ليكون تعبيرا شاملا عن التكامل بين المساحة الأرضية و المساحة الفضائية و الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. ومن التعريفات الحديثة لعلم الجيوماتكس أنه العلم و الفن و التقنيات الخاصة بالطرق والوسائل المختلفة لقياس و تجميع المعلومات الخاصة بالسطح الفيزيائي و البيئي للأرض والتعامل مع هذه المعلومات لإنتاج خرائط متعددة الأغراض مع رفع كفاءة تجميع و تدقيق و تحديث البيانات المكانية ذات البعد الجغرافي وإدارة هذه البيانات داخل قاعدة بيانات نظم المعلومات الجغرافية مع ضمان تطورها و استدامتها.



جهاز المحطة الشاملة جهاز تسوية الأرض بالليزر جهاز جي بي أس

شكل (١-٤) أجهزة مساحية حديثة

١-٣ أقسام علم المساحة:

توجد عدة تقسيمات لأنواع تطبيقات المساحة سواء من حيث مجال الاستخدام أو من حيث الهدف من العمل المساحي أو من حيث الجهاز المساحي المستخدم ... الخ. إلا أن أقسام المساحة هي:

(أ) المساحة الأرضية Terrestrial Survey:

تشمل المساحة الأرضية تطبيقات و قياسات علم المساحة علي سطح الأرض من خلال أجهزة موضوعة علي سطح الأرض ، وتنقسم طبقا لطبيعة هذه القياسات إلي نوعين أساسيين:

أ-١ المساحة الجيوديسية Geodetic Survey:

في هذا النوع من علوم المساحة يتم الاعتماد علي الشكل الحقيقي شبه الكروي للأرض - والذي هو شكل غير مستوي - ومن ثم تعتمد الأجهزة و طرق الحسابات المستخدمة في المساحة الجيوديسية علي هذا المبدأ الهام. غالبا يتم استخدام المساحة الجيوديسية في تمثيل مساحات كبيرة من سطح الأرض.

أ-٢ المساحة المستوية Plane Survey:

عند إجراء القياسات المساحية في منطقة صغيرة من سطح الأرض (عدة كيلومترات مربعة) يمكن إهمال الشكل الحقيقي للأرض والاكتفاء بافتراض أن هذا الجزء الصغير يمكن تمثيله كمستوي ، ومن هنا جاء أسم المساحة المستوية.

تنقسم المساحة المستوية إلي فرعين: (١) المساحة التفصيلية Cadastral Survey والتي تهتم بتوضيح حدود الملكيات العامة و الخاصة ويكون هذا التمثيل باستخدام بعدين فقط (الطول و العرض) لكل هدف ولذلك يسمي هذا النوع من أقسام المساحة بالمساحة ثنائية الأبعاد ، (٢) المساحة الطبوغرافية Topographic Survey والتي تهتم بقياس البعد الثالث (الارتفاع أو الانخفاض) لكل هدف بحيث يتم تمثيله من خلال ثلاثة أبعاد: الطول و العرض و الارتفاع. ولذلك تسمي المساحة الطبوغرافية باسم المساحة ثلاثية الأبعاد.

كما توجد بعض التقسيمات الأخرى للمساحة المستوية حيث يقسمها البعض إلي عدة أنواع طبقا للهدف من المشروع المساحي ذاته مثل:

- المساحة الأرضية أو التفصيلية Land or Cadastral Survey: تهتم بالتحديد الدقيق للمواقع و الحدود لقطع الأراضي في منطقة صغيرة.
- المساحة الطبوغرافية Topographic Survey: تهتم بجمع الأرصاد و القياسات الأفقية وكذلك الارتفاعات للمظاهر الطبيعية و البشرية لتطوير الخرائط ثلاثية الأبعاد.
- المساحة الهندسية أو الإنشائية Engineering or Construction Survey: تهتم بجمع القياسات لكل مراحل تنفيذ المشروعات الهندسية.
- مساحة الطرق Route Survey: تهتم لتنفيذ العمل المساحي المطلوب لإنشاء مشروعات النقل مثل الطرق و السكك الحديدية ومد الأنابيب وخطوط الكهرباء.

(ب) المساحة التصويرية أو الجوية Photogrammetry:

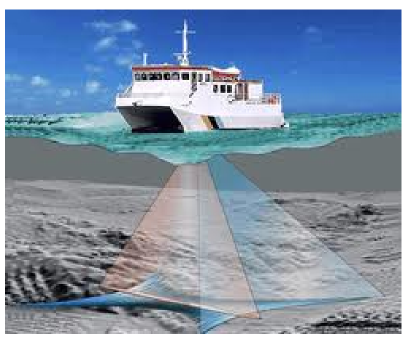
تتكون المساحة الجوية من عمل قياسات من الصور الملتقطة بكاميرات موضوعة في طائرات ثم استخدام هذه القياسات في إنتاج الخرائط المساحية. ويرجع تاريخ هذا النوع من المساحة إلي منتصف القرن العشرين الميلادي. ومع إطلاق الأقمار الصناعية ظهر علم الاستشعار عن بعد والذي يعتمد علي التصوير الفضائي من خلال كاميرات و أجهزة موضوعة داخل الأقمار الصناعية ، ومن هنا فيمكن إضافة علم الاستشعار عن بعد إلي قسم المساحة التصويرية. يمكن تقسيم المساحة التصويرية إلي ثلاثة أفرع: (١) المساحة الجوية Aerial Photogrammetry وهي حالة التصوير من الطائرات ، (٢) المساحة التصويرية الأرضية Close-Range Photogrammetry وهي حالة التصوير من علي سطح الأرض ، (٣) المساحة التصويرية الفضائية أو الاستشعار عن بعد Satellite Photogrammetry وهي حالة التصوير من الأقمار الصناعية.




شكل (١-٥) المساحة الجوية

(ج) المساحة البحرية أو الهيدروجرافية Hydrographic Survey:

تهتم المساحة البحرية – كما هو واضح من أسمها – بتحديد مواقع الظاهرات الموجودة علي أو تحت سطح المياه في البحار والأنهار و المحيطات. ومن أمثلة منتجات المساحة البحرية الخرائط الهيدروجرافية التي تمثل تضاريس قاع البحر.




شكل (١-٦) المساحة الهيدروجرافية

(د) المساحة الفلكية Astronomical Survey:

يعتمد هذا الفرع من أفرع المساحة علي رصد الأجرام السماوية واستخدام هذه القياسات في تحديد مواقع الظاهرات الجغرافية الموجودة علي سطح الأرض. وكانت المساحة الفلكية أحد أهم تطبيقات علم المساحة في إنشاء شبكات الثوابت الأرضية (نقاط معلومة الإحداثيات) قديما، إلا أن هذا التطبيق أصبح الآن يعتمد علي استخدام الأقمار الصناعية بدلا من النجوم الطبيعية. مازال الاعتماد علي المساحة الفلكية قسما هاما من أقسام علم المساحة وخاصة في التطبيقات المساحية التي تتطلب دقة عالية جدا - مثل دراسة تحركات القشرة الأرضية - إلا أن تقنياته وأجهزته قد تغيرت و تطورت كثيرا في الفترة الماضية، مثل تقنية VLBI (تقنية قياس خطوط القواعد الطويلة جدا باستقبال أشعة الأجرام السماوية).



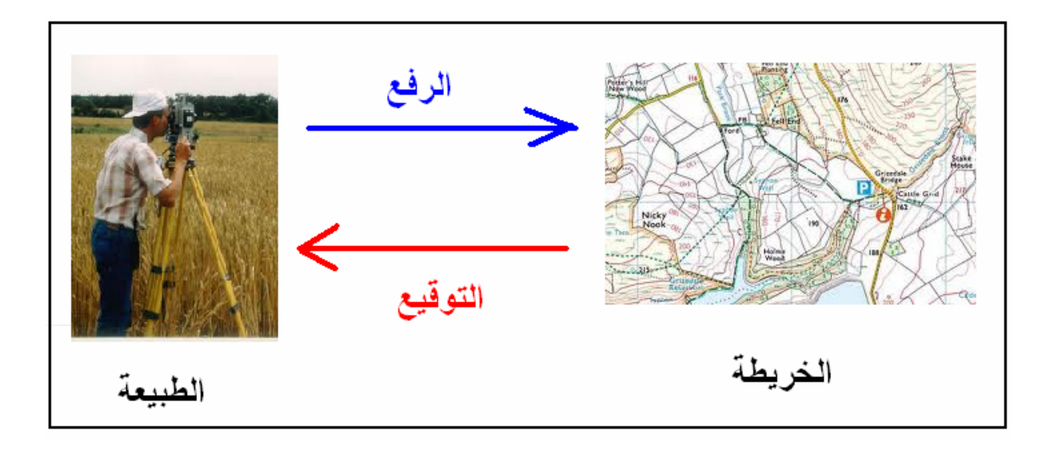

شكل (١-٧) هوائيات تحديد المواقع بتقنية VLBI

١-٤ العمل المساحي:

يمكن تقسيم العمل المساحي بصفة عامة إلي جزأين أساسيين: الرفع و التوقيع:

الرفع Layout: وهو إجراء القياسات المساحية في الطبيعة ومن ثم تمثيلها علي الخريطة ، أي أن عملية الرفع هي عملية نقل المعلومات من الطبيعة إلي الخريطة.

التوقيع Setting out: وهو تحديد مواقع (إحداثيات) لظواهر أو أهداف محددة علي الخريطة ومن ثم تحديد هذه المواقع في الطبيعة ، أي أن عملية التوقيع هي عملية نقل المعلومات من الخريطة إلي الطبيعة.



شكل (١-٨) أقسام العمل المساحي

الفصل الثاني

وحدات و نظم القياس

ينصب العمل المساحي علي إجراء قياسات طولية (مسافات) و زاوية في الطبيعة ، لذلك فمن المهم لدارس علم المساحة أن يلم بالنظم و الوحدات المختلفة المستخدمة في تنفيذ هذه القياسات أو الأرصاد وطرق التحويل بينها.

٢-١ وحدات القياسات:

٢-١-١ وحدات القياس الطولية:

يوجد نظامين مستخدمين في قياس المسافات و الأطوال وهما النظام الدولي والنظام الانجليزي.

في النظام الدولي (يسمي أيضا النظام الفرنسي) ويرمز له بالرمز SI يتم استخدام وحدات المتر و مشتقاته كالآتي:

١ متر (م)	= ١٠ ديسيمتر (دسم)
١ ديسيمتر (دسم)	= ١٠ سنتيمتر (سم)
١ سنتيمتر (سم)	= ١٠ ملليمتر (مم)
ا كيلومتر (كم)	= ١٠٠٠ متر (م)

<u>أي أن:</u>

١ متر (م)	= ١٠٠ سنتيمتر (سم)
١ متر (م)	= ١٠٠٠ ملليمتر (مم)
ا كيلومتر (كم)	= ١٠،٠٠٠ ديسيمتر (دسم)
ا كيلومتر (كم)	= ١٠٠،٠٠٠ سنتيمتر (سم)
ا كيلومتر (كم)	= ١،٠٠٠،٠٠٠ ملليمتر (مم)

أما في النظام الانجليزي فيتم استخدام وحدات القدم و مشتقاته كالآتي:

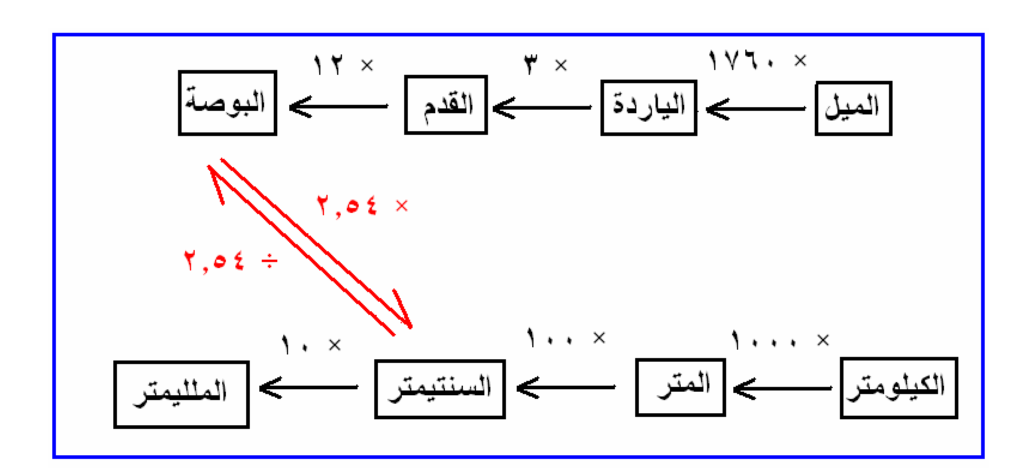
١ ميل	= ١٧٦٠ ياردة
١ ياردة	= ٣ قدم
١ قدم	= ١٢ بوصة

للتحويل بين كلا نظامي القياسات الطولية فتوجد عدة علاقات رياضية تشمل:

١ متر	= ٣.٢٨٠٨	قدم
١ متر	= ٣٩.٣٧	بوصة
١ متر	= ٣	ياردة
١ كيلومتر	= ٠.٦٢١٢٧	ميل
١ بوصة	= ٢.٥٤	سنتيمتر
١ قدم	= ٣٠.٤٨	سنتيمتر

١ ياردة	= ٠.٩١٤٤	متر
١ ميل	= ١٦٠٩.٣٥	متر
١ ميل	= ١.٦٠٩٣٤	كيلومتر

للسهولة يمكن الاكتفاء بمعرفة علاقة رياضية واحدة فقط للتحويل بين كلا النظامين كما في المثال التالي:



شكل (٢-١) التحويل بين نظم الوحدات الطولية

أحسب طول الطريق بين مكة المكرمة و الرياض بالميل إذا علمت أن طوله يبلغ ٨٨٠ كيلومتر؟

الطول = ٨٨٠ × ١٠٠٠ × ١٠٠ / (٢.٥٤ × ١٢ × ٣ × ١٧٦٠)
= ٥٤٦.٨٠٦ ميل

أحسب طول ملعب كرة قدم بالمتر إن كان طوله يساوي ١٠٠ ياردة؟

الطول = ١٠٠ × ٣ × ١٢ × ٢.٥٤ / (١٠٠)
= ٩١.٤٤ متر

٢-١-٢ وحدات قياس المساحات:

١ متر مربع	= ١٠٠ × ١٠٠	= ١٠٠٠٠ سنتيمتر مربع
١ كيلومتر مربع	= ١٠٠٠ × ١٠٠٠	= ١٠٠٠٠٠٠ متر مربع

نظام وحدات قياس المساحات (وخاصة الزراعية) في المملكة العربية السعودية:

١ دونم	=	١٠٠٠	متر مربع
١ هكتار	=	١٠	دونم
١ هكتار	=	١٠٠٠٠	متر مربع
١ كيلومتر مربع	=	١٠٠	هكتار

نظام وحدات قياس المساحات (وخاصة الزراعية) في جمهورية مصر العربية:

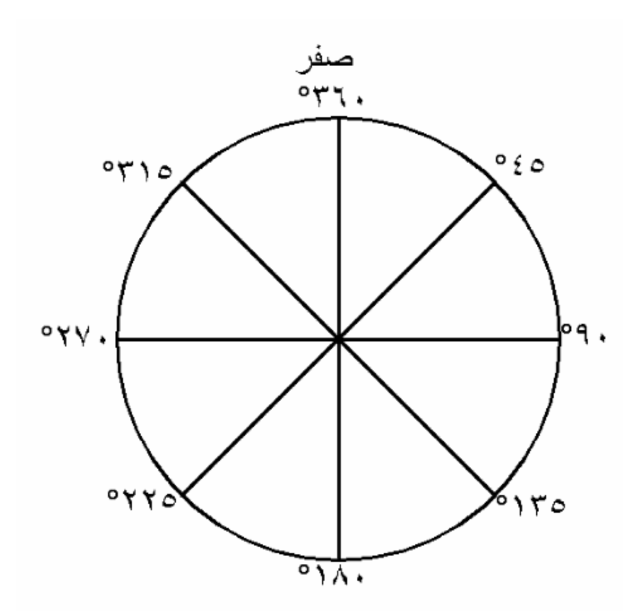
١ فدان	= ٢٤	قيراط
١ قيراط	= ٢٤	سهم
١ فدان	= ٤٢٠٠.٨٣	متر مربع
١ قيراط	= ١٧٥.٠٩	متر مربع
١ سهم	= ٧.٢٩	متر مربع

٢-٢ نظم قياس الزوايا:

توجد ثلاثة أنظمة لقياس الزوايا (والاتجاهات) وهي النظام الستيني و النظام المئوي و النظام الدائري:

٢-٢-١ النظام الستيني لقياس الزوايا:

في النظام الستيني تقسم الدائرة إلي ٣٦٠ قسما يسمي الجزء الواحد منها الدرجة الستينية ويرمز له بالرمز (°) ، ثم تقسم الدرجة الستينية الواحدة إلي ٦٠ جزءا يسمي الواحد منهم الدقيقة الستينية ويرمز له بالرمز (') ، ثم تقسم الدقيقة الستينية الواحدة إلي ٦٠ جزءا يسمي الواحد منهم الثانية الستينية ويرمز له بالرمز (").



شكل (٢-٢) النظام الستيني لقياس الزوايا

أي أن:

١ درجة ستينية ° = ٦٠ دقيقة ستينية '

١ دقيقة ستينية ' = ٦٠ ثانية ستينية "

١ درجة ستينية ° = ٦٠ × ٦٠ = ٣٦٠٠ ثانية ستينية "

وتكتب الزاوية الستينية بالشكل التالي: ٤٥" ٥٢' ١٢٧° أي: ١٢٧ درجة و ٥٢ دقيقة و ٤٥ ثانية.

<u>مثال:</u>

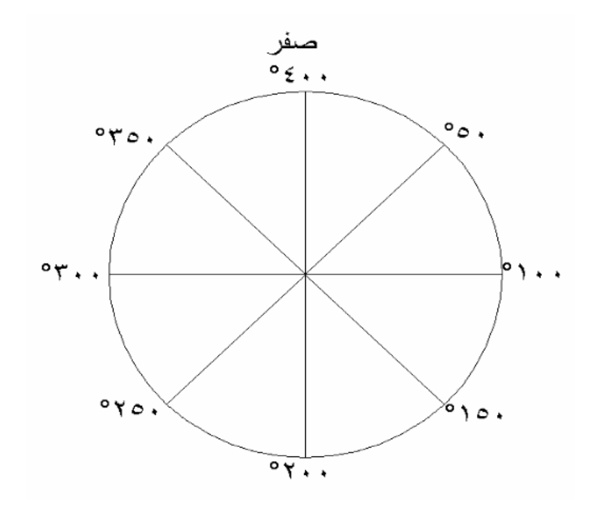
الزاوية ٤٥" ٥٢' ١٢٧° = (٤٥" ÷ ٦٠) + ٥٢' ١٢٧° = ٥٢.٧٥' ١٢٧°

= (٥٢.٧٥' ÷ ٦٠)' + ١٢٧° = ١٢٧.٨٧٩١٦٧ °

= (٤٥" ÷ ٦٠) + (٥٢' ÷ ٦٠) + ١٢٧° = ١٢٧.٨٧٩١٦٧ °

٢-٢-٢ النظام المئوى لقياس الزوايا:

في النظام المئوي (يسمي أيضا جراد) تقسم الدائرة إلي ٤٠٠ قسما يسمي الجزء الواحد منها الدرجة المئوية أو الجراد ويرمز له بالرمز (^{g}) ، ثم تقسم الدرجة المئوية الواحدة إلي ١٠٠ جزءا يسمي الواحد منهم الدقيقة المئوية ويرمز له بالرمز (^{c}) ، ثم تقسم الدقيقة المئوية الواحدة إلي ١٠٠ جزءا يسمي الواحد منهم الثانية المئوية ويرمز له بالرمز (^{cc}).



شكل (٢-٣) النظام المئوي لقياس الزوايا

<u>أي أن:</u>

١ درجة مئوية ^{g} = ١٠٠ دقيقة مئوية ^{C}

١ دقيقة مئوية ^{C} = ١٠٠ ثانية مئوية ^{CC}

١ درجة مئوية ^{g} = ١٠٠ × ١٠٠ = ١٠٠٠٠ ثانية مئوية ^{CC}

وتكتب الزاوية الستينية بالشكل التالي: ٨٥^{CC} ٦٢^{C} ٣٧٢^{g} أي: ٣٧٢ درجة و ٦٢ دقيقة و ٨٥ ثانية.

<u>مثال:</u>

الزاوية ٨٥ ^{CC} ٦٢ ^{C} ٣٧٢ ^{g}

= (٨٥ ^{CC} ÷ ١٠٠) + ٦٢ ^{C} ٣٧٢ ^{g} = ٦٢.٨٥ ^{C} ٣٧٢ ^{g}

= (٦٢.٨٥ ^{C} ÷ ١٠٠)^{C} + ٣٧٢ ^{g} = ٣٧٢.٦٢٨٥ ^{g}

= (٨٥ ^{CC} ÷ ١٠٠) + (٦٢ ^{C} ÷ ١٠٠) + ٣٧٢ ^{g} = ٣٧٢.٦٢٨٥ ^{g}

٢-٢-٣ النظام الدائرى لقياس الزوايا:

يعادل التقدير الدائري لأي زاوية النسبة بين طول القوس الذي يقابل هذه الزاوية (المقطوع من دائرة مركزها رأس هذه الزاوية) ونصف قطر هذه الدائرة.

تقاس الزاوية الدائرية بوحدات تسمي "الراديان" - ويرمز له بالرمز ٢ - حيث يكون محيط الدائرة الكاملة = ٢ ط = ٢ × ٢٢ ÷ ٧ = ٦.٢٨٣١٨٥٣٠٧ راديان.

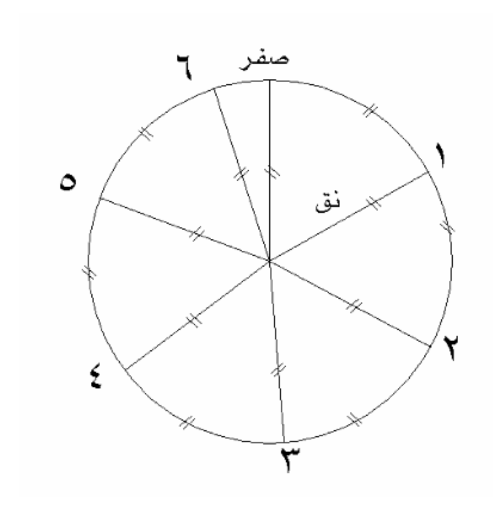
<u>أي أن:</u>

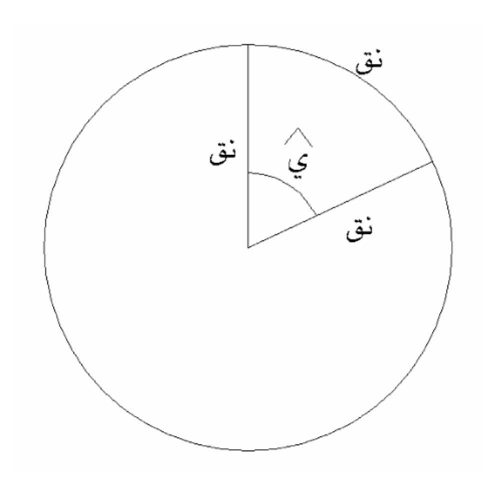
١ راديان = ٥٧.٢٩٥٧٧٩٥ ^{o}

= ٥٧ ^{o} ١٧' ٤٤.٨"

= ٢٠٦٢٦٥"

= ٦٣.٦٦١٩٩٧٢ ^{g}





شكل (٢-٤) النظام الدائري لقياس الزوايا

٢-٢-٤ التحويل بين نظم قياس الزوايا:

(أ) للتحويل بين النظام الستيني و النظام المئوي:

بما أن الدائرة تعادل ٣٦٠ درجة ستينية وفي نفس الوقت تعادل ٤٠٠ درجة مئوية ، أي أن:

٣٦٠ درجة ستينية = ٤٠٠ درجة مئوية

إذن:

١ درجة ستينية	= ١.١١١١١١	درجة مئوية
١ درجة مئوية	= ٠.٩	درجة ستينية

(ب) للتحويل بين النظام الستيني و النظام الدائري:

بما أن الدائرة تعادل ٣٦٠ درجة ستينية وفي نفس الوقت تعادل ٢ ط راديان ، أي أن:

٣٦٠ درجة ستينية = ٢ ط راديان

إذن:

١ درجة ستينية	= ط ÷ ١٨٠	راديان
١ درجة دائرية	= ١٨٠ ÷ ط	درجة ستينية

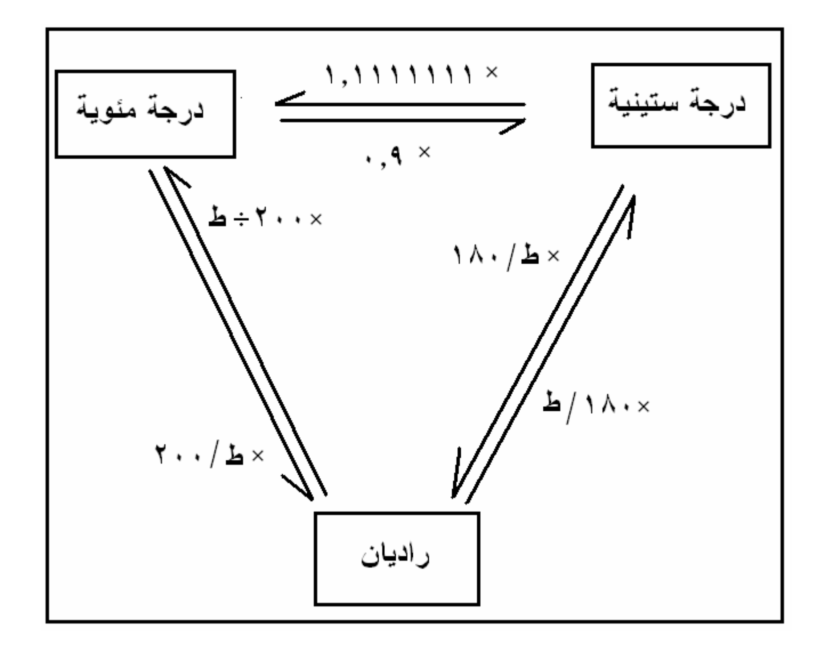
(ج) للتحويل بين النظام المئوي و النظام الدائري:

بما أن الدائرة تعادل ٤٠٠ درجة مئوية وفي نفس الوقت تعادل ٢ ط راديان ، أي أن:

٤٠٠ درجة مئوية = ٢ ط راديان

إذن:

١ درجة مئوية	= ط ÷ ٢٠٠	راديان
١ درجة دائرية	= ٢٠٠ ÷ ط	درجة مئوية



شكل (٢-٥) التحويل بين نظم قياس الزوايا

<u>أمثلة:</u>

١- حول الزاوية المئوية ٤٥^{cc} ٨٠^{c} ١٧١^{g} إلي التقدير الستيني:

الزاوية = (٤٥÷١٠٠٠٠) + (٨٠÷١٠٠) + ١٧١ = ١٧١.٨٠٤٥ ^{g}
= ١٧١.٨٠٤٥ × ٠.٩ = ١٥٤.٦٢٤٠٥ ^{o}
= ٢٧" ٣٧" ١٥٤ ^{o}

٢- حول الزاوية ٢٧" ٣٧" ١٥٤ ^{o} إلي التقدير الدائري:

الزاوية = (٢٧÷٣٦٠٠) + (٣٧÷٦٠) + ١٥٤ = ١٥٤.٦٢٤٠٥ ^{o}
= ١٥٤.٦٢٤٠٥ × ط / ١٨٠
= ٢.٦٩٩٧٨٥ راديان

<u>٢-٣ الأشكال الهندسية البسيطة:</u>

مساحة المربع = مربع طول الضلع = طول الضلع × نفسه (٢-١)

مساحة المستطيل = الطول × العرض (٢-٢)

مساحة متوازي الأضلاع = القاعدة × الارتفاع (٢-٣)

مساحة المعين = القاعدة × الارتفاع أو = نصف حاصل ضرب القطرين (٢-٤)

مساحة شبه المنحرف = نصف مجموع القاعدتين × الارتفاع (٢-٥)

مساحة الشكل الرباعي = نصف حاصل ضرب القطرين × جيب الزاوية المحصورة بينهما (٢-٦)

مساحة الدائرة = مربع نصف قطر الدائرة × ط = ط $(نق)^2$ (٢-٧)

حيث:
ط = ٢٢/٧ ، نق = نصف قطر الدائرة

مساحة سطح الكرة = ٤ ط $(نق)^2$ (٢-١)

مساحة الشكل البيضاوي = ط × نصف المحور الأكبر × نصف المحور الأصغر (٢-٨)

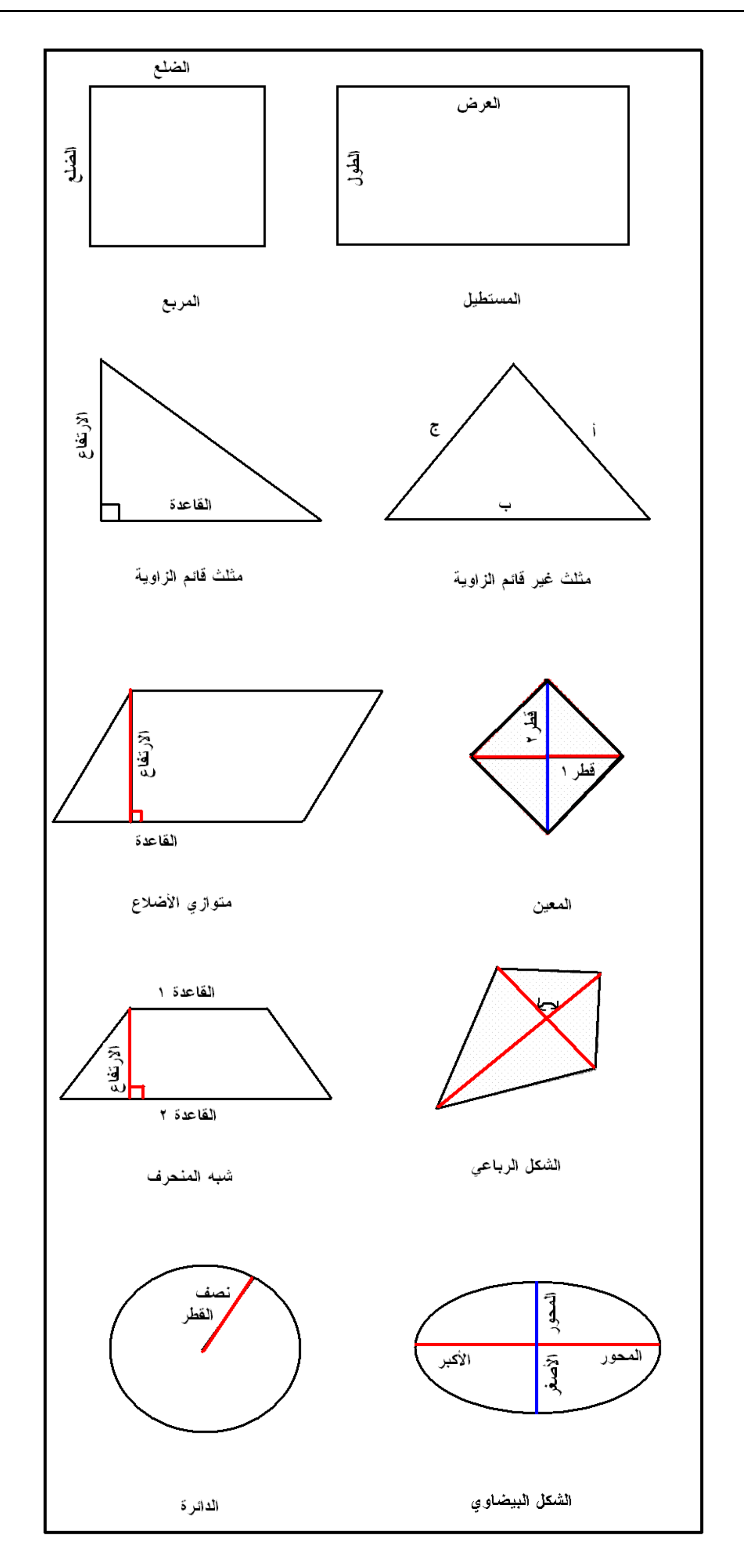
مساحة المثلث القائم الزاوية = ٠.٥ × القاعدة × الارتفاع (٢-٩)

مساحة المثلث غير قائم الزاوية = الجذر التربيعي [س × (س-أ) × (س-ب) × (س-ج)] (٢-١٠)

حيث:

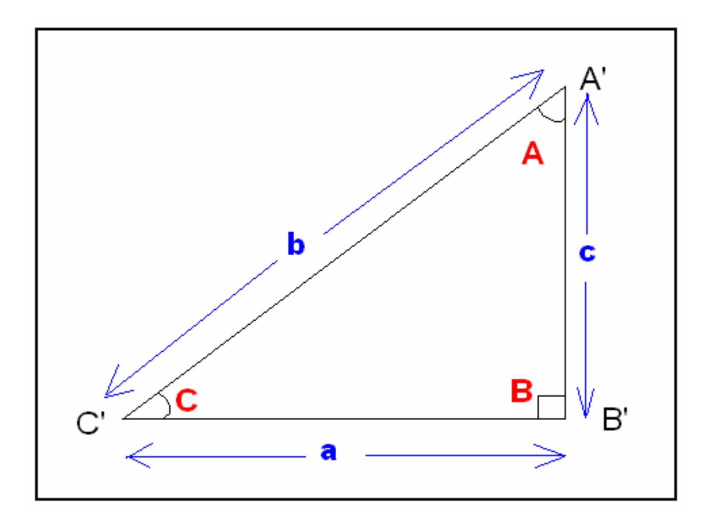
أ ، ب ، ج قيم أطوال الأضلاع الثلاثي للمثلث

س = نصف مجموع أضلاع المثلث = (أ + ب + ج) ÷ ٢



شكل (٢-٦) الأشكال الهندسية البسيطة

المثلث قائم الزاوية:



شكل (٢-٧) المثلث قائم الزاوية

النسب المثلثية:

جا أو sin لأي زاوية = طول الضلع المقابل / طول الوتر (٢-١١)

جتا أو cos لأي زاوية = طول الضلع المجاور / طول الوتر (٢-١٢)

ظا أو tan لأي زاوية = طول الضلع المقابل / طول الضلع المجاور (٢-١٣)

في المثلث الموضح فأن:

$$\text{Sin } C = c / b, \quad \cos C = a / b, \quad \tan C = c / a \qquad (2\text{-}14)$$

معادلة فيثاغورث:

مربع طول الوتر = مربع طول المقابل + مربع طول المجاور

$$b^2 = a^2 + c^2 \qquad (2\text{-}15)$$

So:

$b = \sqrt{(a^2 + c^2)}$

$a = \sqrt{(b^2 - c^2)}$

$c = \sqrt{(b^2 + a^2)}$

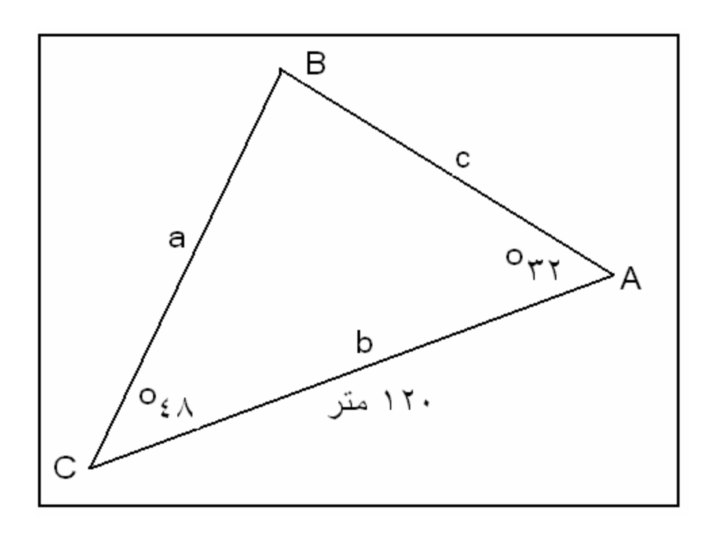
<u>قانون جيب الزاوية:</u>

لأي مثلث سواء كان قائم الزاوية أو لا فأن:

طول الضلع الأول / جا الزاوية المقابلة له = طول الضلع الثاني / جا الزاوية المقابلة له = طول الضلع الثالث / جا الزاوية المقابلة له

$$a / \sin A = b / \sin B = c / \sin C \qquad (2\text{-}16)$$

وبذلك يمكن حل المثلث (أي حساب باقي معلوماته) إذا علمنا منه زاويتين و ضلع:



شكل (٢-٨) مثال للمثلث غير قائم الزاوية

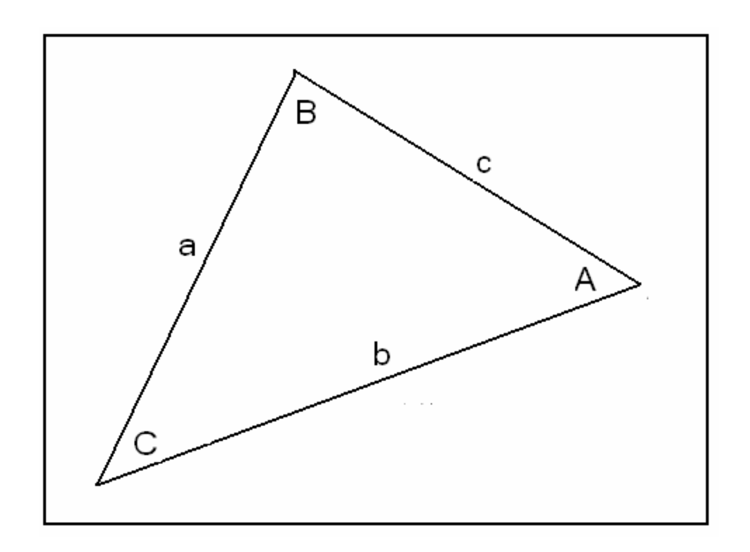
<u>مثال:</u>

$B = 180^{o} - (32^{o} + 48^{o}) = 100^{o}$
$120 / \sin 100^{o} = a / \sin 32^{o} = c / \sin 48^{o}$
$a = 120 \times \sin 32^{o} / \sin 100^{o} = 64.57\ m$
$c = 120 \times \sin 48^{o} / \sin 100^{o} = 90.55\ m$

قانون جيب تمام الزاوية:

لأي مثلث سواء كان قائم الزاوية أو لا فأن:

مربع طول أي ضلع = مجموع مربعي الضلعين الآخرين ناقص ضعف حاصل ضربهما في جيب تمام الزاوية المحصورة بينهما:



شكل (٢-٩) المثلث غير قائم الزاوية

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2\,b\,c\cos A \qquad (2\text{-}17)$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2\,a\,c\cos B \qquad (2\text{-}18)$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2\,a\,b\cos C \qquad (2\text{-}19)$$

وبذلك يمكن حل المثلث (أي حساب باقي معلوماته) إذا علمنا منه ضلعين و زاوية.

معادلات مثلثيه أخري:

$$\sec = 1 / \cos \qquad (2\text{-}20)$$

حيث: sec = قا الزاوية

$$\csc = 1 / \sin \qquad (2\text{-}21)$$

حيث: csc = قتا الزاوية

$$\cot = 1 / \tan \qquad (2\text{-}22)$$

حيث: cot = ظتا الزاوية

$$\sin^2 + \cos^2 = 1 \qquad (2\text{-}23)$$

$\tan^2 + 1 = \sec^2$ (2-24)

$\cot^2 + 1 = \csc^2$ (2-25)

$\sin (A + B) = \sin A \cos B + \cos A \sin B$ (2-26)

$\cos (A + B) = \cos A \cos B - \sin A \sin B$ (2-27)

$\tan (A+B) = (\tan A + \tan B) / (1 – \tan A \tan B)$ (2-28)

$\sin 2A = 2 \sin A \cos A$ (2-29)

$\cos 2A = \cos^2 A – \sin^2 A = 1 – 2 \sin^2 A = (2 \cos^2 A) – 1$ (2-30)

$\tan 2A = (2 \tan A) / (2 \cot A)$ (2-31)

$\sin (A - B) = \sin A \cos B - \cos A \sin B$ (2-32)

$\cos (A - B) = \cos A \cos B + \sin A \sin B$ (2-33)

$\tan (A+B) = (\tan A - \tan B) / (1 + \tan A \tan B)$ (2-34)

$\sin (A/2) = \pm \sqrt{[(1 – \cos A) / 2]}$ (2-35)

$\cos (A/2) = \pm \sqrt{[(1 + \cos A) / 2]}$ (2-36)

$\tan (A/2) = \pm \sqrt{[(1 – \cos A) / (1+\cos A)]}$ (2-37)

٢-٤ أنواع اتجاه الشمال:

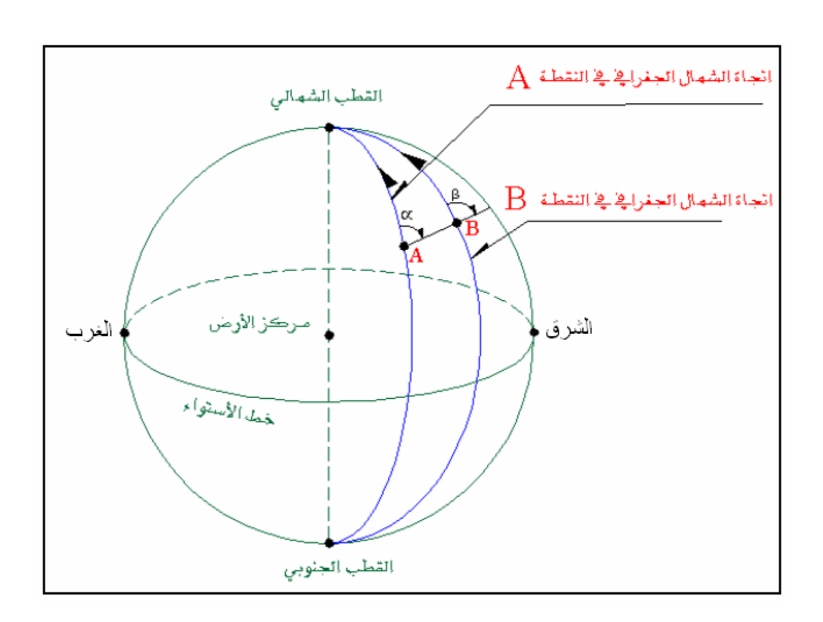
أتفق العاملون بالمساحة منذ مئات السنين علي اعتبار اتجاه الشمال هو الاتجاه المرجعي Reference Direction عند قياس الاتجاهات في الطبيعة وأيضا في الخريطة. لكن يوجد نوعين من أنواع اتجاه الشمال:

٢-٤-١ الشمال المغناطيسي Magnetic Meridian :

هو الاتجاه الذي تحدده أبره مغناطيسية حركة الحركة كاملة الاتزان وليست تحت أي تأثير مغناطيسي محلي. فإذا تركت هذه الإبرة حركة الحركة فأنها ستتجه ناحية اتجاه الشمال الذي يطلق عليه أسم الشمال المغناطيسي. وهذه هي الفكرة التي بنيت عليها أجهزة البوصلة المغناطيسية التي يمكن استخدامها في الطبيعة لتحديد اتجاه الشمال. لكن أهم مشاكل الشمال المغناطيسي أنه غير ثابت (غير متوازي عند مجموعة من النقاط) بل أنه يتغير عند نفس النقطة من عام لآخر.

٢-٤-٢ الشمال الجغرافي Geographic or True Meridian:

هو الاتجاه أو الخط الواصل بين أي نقطة وكلا القطبين الشمالي و الجنوبي للأرض. الشمال الحقيقي هو اتجاه ثابت غير متغير ويتم تحديده من خلال الأرصاد و القياسات الفلكية ، وحيث أنه ثابت وغير متغير فهو المستخدم في إنشاء الخرائط.



شكل (٢-١٠) اتجاه الشمال

٢-٤-٣ زاوية الاختلاف Declination Angle:

يطلق أسم زاوية الاختلاف علي الزاوية المحصورة بين اتجاهي الشمال المغناطيسي و الجغرافي عند نقطة معينة في زمن معين. فإذا كان الشمال المغناطيسي شرق الشمال الجغرافي

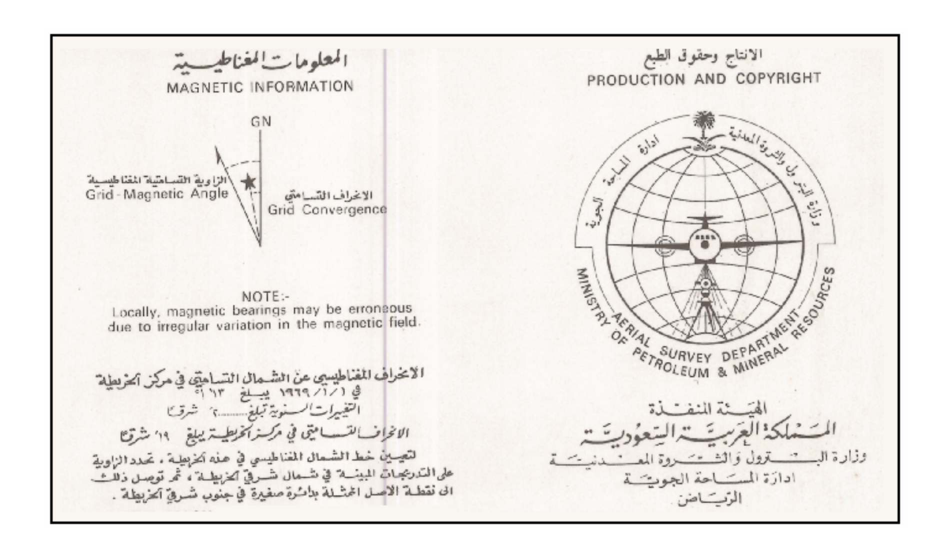
فتكون إشارة زاوية الاختلاف موجبه ، وإذا كان الشمال المغناطيسي غرب الشمال الجغرافي فتكون إشارة زاوية الاختلاف سالبة:

الانحراف الجغرافي = الانحراف المغناطيسي ± زاوية الاختلاف (٢-٣٨)

حيث:

+ إن كانت زاوية الاختلاف شرقا
- إن كانت زاوية الاختلاف غربا

وغالبا توضع زاوية الاختلاف علي الخريطة لتحدد قيمتها و اتجاهها عند إنشاء الخريطة:



شكل (٢-١١) مثال لمعلومات زاوية الاختلاف علي خريطة

تتغير زاوية الاختلاف بطريقة منتظمة في عدة دورات علي مدار : (أ) تغير كل ٣٠٠ سنة تقريبا ، (ب) تغير سنوي ، (ج) تغير يومي.

<u>مثال:</u>

تم قياس الانحراف المغناطيسي لخط في عام ١٩٩٤م ووجد أنه يبلغ ٣٠' ٥٤° ووجد أن زاوية الاختلاف في عام ١٩٩٠م تبلغ ٣٠' ١٧° شرقا وتتغير سنويا بمعدل ٣' للغرب. أحسب الانحراف الحقيقي لهذا الخط؟

بما أن زاوية الاختلاف للشرق فتجمع قيمتها ، بينما تطرح قيمة التغير السنوي لأنه للغرب:

الانحراف الحقيقي = ٣٠' ٥٤° + [٣٠' ١٧° - (٣' × ٤ سنوات)]
= ٣٠' ٥٤° + [٣٠' ١٧° - ١٢']
= ٣٠' ٥٤° + [١٨' ١٧°]
= ٤٨' ٧١°

يمكن معرفة قيمة زاوية الاختلاف من خلال مواقع بعض الجهات المتخصصة علي شبكة الانترنت مثل موقع الوكالة الأمريكية للمحيطات والمناخ المعروفة باسم NOAA في الرابط التالي:

http://www.ngdc.noaa.gov/geomagmodels/Declination.jsp

القيم التالية تمثل زوايا الاختلاف لبعض المواقع في يوم ١/١/ ٢٠١٢ م:

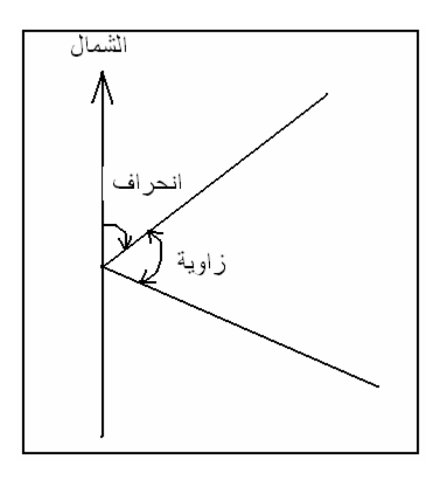
المدينة	الموقع الجغرافي التقريبي		زاوية الاختلاف
	خط الطول	دائرة العرض	
مكة المكرمة	٣٩.٨٢٥° شرقا	٢١.٤٢٦° شمالا	٢'٠' ١٥° غربا
المدينة المنورة	٣٩.٦١١° شرقا	٢٤.٤٥٦° شمالا	٢٩' ١٤° غربا
القاهرة	٣١.٢٢٩° شرقا	٣٠.٠٥٨° شمالا	١٥' ١١° غربا

٢-٤-٤ الشمال الاختياري أو المفروض Arbitrary or Assumed Meridian:

في حالة عدم معرفة الراصد في الطبيعة لأيا من اتجاهي الشمال المغناطيسي أو الجغرافي فأنه يقوم بافتراض اتجاه شمال لكي يبدأ منه أعمال القياس المساحي (غالبا يكون اتجاه أحد خطوط العمل المساحي) كاتجاه مرجعي مفروض لهذا العمل. ولاحقا قد يتمكن الراصد من معرفة العلاقة بين هذا الشمال الاختياري والشمال الحقيقي ومن ثم يقوم بتصحيح قياساته لينسبها إلي اتجاه الشمال الحقيقي.

٢-٥ أنواع الانحرافات:

يطلق مصطلح "الزاوية" علي الزاوية المقاسة بين خطين ، بينما يطلق مصطلح "الانحراف Bearing or Azimuth" علي الزاوية المقاسة بدءا من اتجاه الشمال إلي الخط المطلوب. فان كان الاتجاه المرجعي (لبدء القياس) هو الشمال المغناطيسي فنحصل علي الانحراف المغناطيسي ، بينما إن كان الاتجاه المرجعي (لبدء القياس) هو الشمال الجغرافي فنحصل علي الانحراف الجغرافي أو الحقيقي.

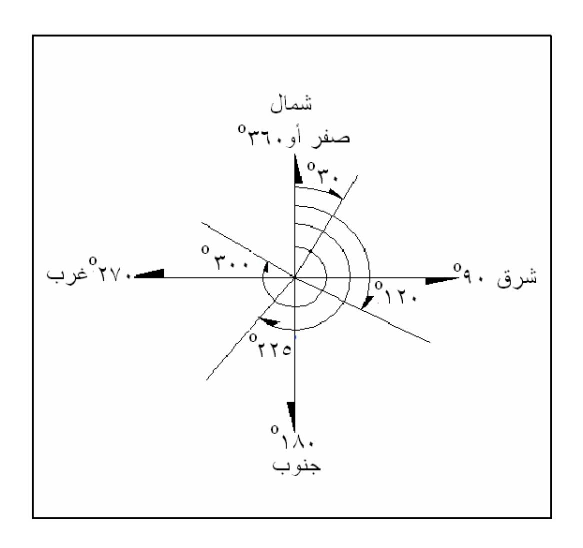


شكل (٢-١٢) الزاوية و الانحراف

يوجد نوعين من أنواع الانحرافات المستخدمة في المساحة: الانحراف الدائري و الانحراف المختصر.

٢-٥-١ الانحراف الدائري Azimuth:

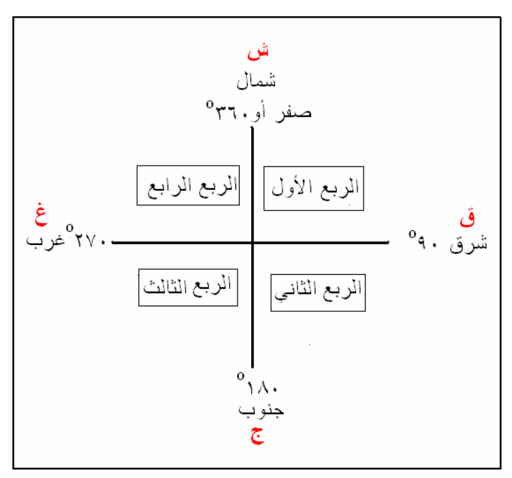
هو الزاوية المقاسة (١) بدءا من اتجاه الشمال (٢) وباتجاه دوران عقرب الساعة ، وتتراوح قيمته بين الصفر و ٣٦٠ درجة ستينية.

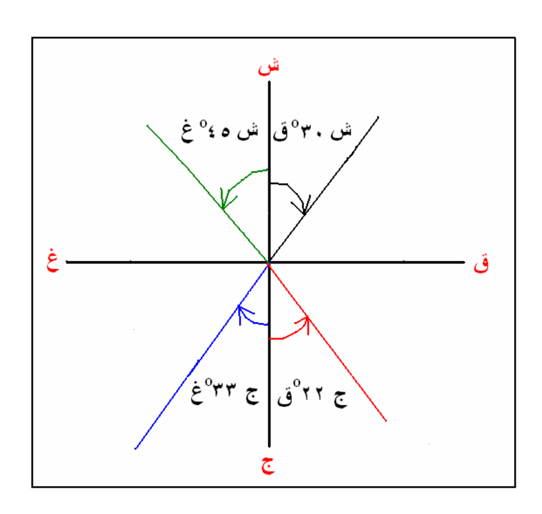


شكل (٢-١٣) الانحراف الدائري

٢-٥-٢ الانحراف المختصر Bearing:

هو الزاوية المقاسة (١) بدءا من اتجاه الشمال (٢) أو اتجاه الجنوب (٣) وباتجاه دوران عقرب الساعة (٤) أو ضد اتجاه دوران عقرب الساعة، وتتراوح قيمته بين الصفر و ٩٠ درجة ستينية فقط. ولذلك فلا بد من ذكر ربع الدائرة الواقع به الانحراف المختصر.



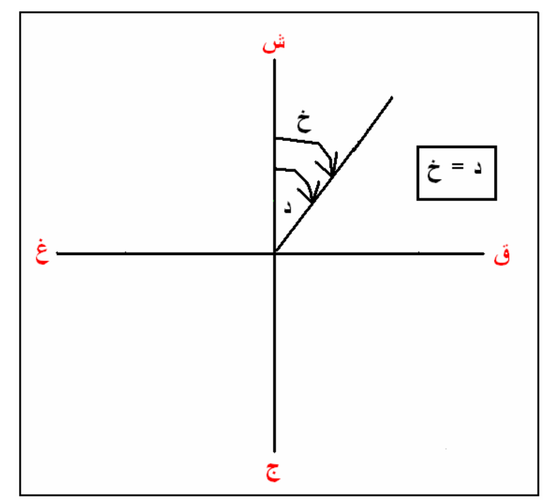


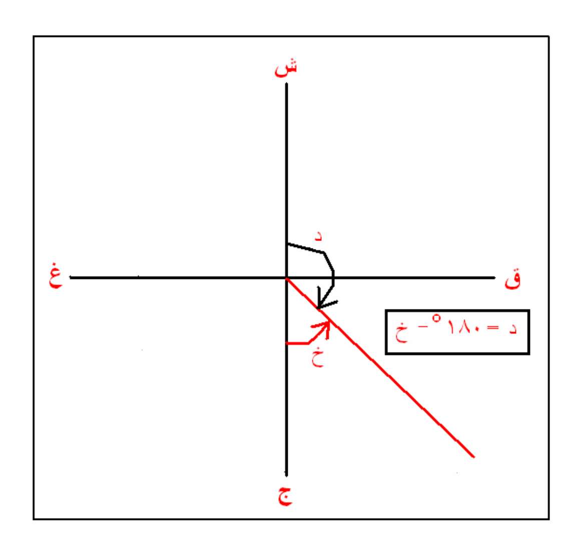
شكل (٢-١٤) الانحراف المختصر

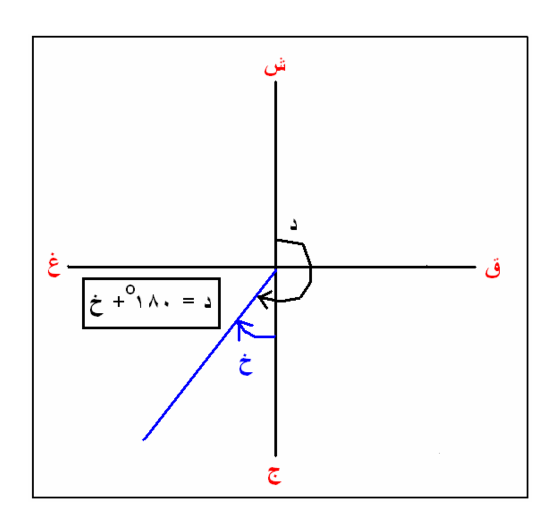
٢-٥-٣ التحويل بين الانحراف الدائرى و الانحراف المختصر:

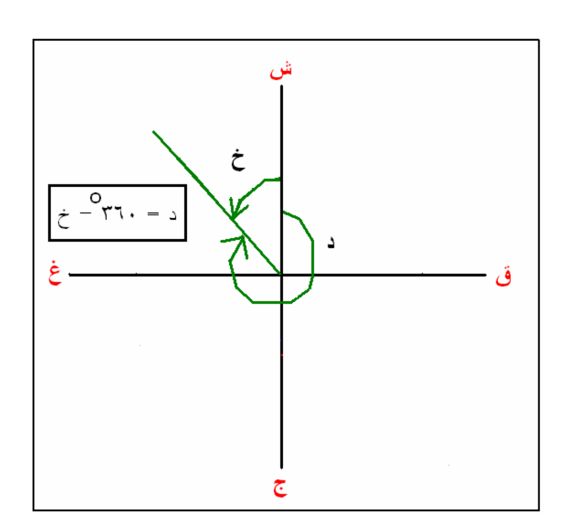
طبقا للربع الواقع به الانحراف المختصر فيمكن استنباط المعادلات الأربعة التالية للتحويل بين الانحراف الدائري (د) والانحراف المختصر (خ) كما في الشكل التالي:

الربع	المعادلة	
الأول	د = خ	(٢-٣٩)
الثاني	د = ١٨٠° – خ	(٢-٤٠)
الثالث	د = ١٨٠° + خ	(٢-٤١)
الرابع	د = ٣٦٠° – خ	(٢-٤٢)









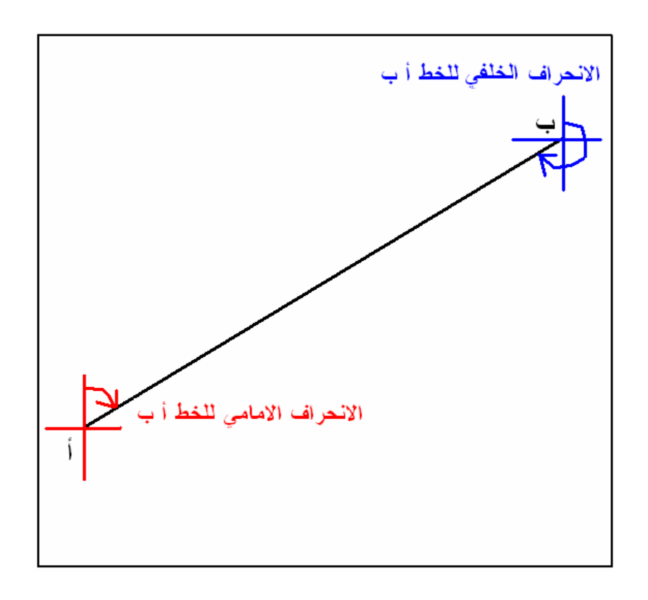
شكل (٢-١٥) التحويل بين الانحراف الدائري و المختصر

الجدول التالي يوضح بعض الأمثلة للتحويل بين كلا نوعي الانحراف:

الانجراف الدائري	الانحراف المختصر
٤٩" ٠٣' ٠١٤°	ش ٤٩" ٠٣' ٠١٤° ق
٤٢" ٣٦' ١٣٠°	ج ١٨" ٢٣' ٠٤٩° ق
٥٣" ٤٤' ٢١٨°	ج ٥٣" ٤٤' ٠٣٨° غ
٥٨" ١٧' ٢٩٤°	ش ٠٢" ٤٢' ٠٦٥° غ

٢-٥-٤ الانحراف الأمامي و الانحراف الخلفي لخط:

يتكون أي خط من نقطتي البداية و النهاية ، ولذلك فيكون له انحرافين: الانحراف الأمامي وهو الانحراف المقاس عند بداية الخط ، والانحراف الخلفي وهو الانحراف المقاس عند نهاية الخط.



شكل (٢-١٦) الانحراف الأمامي و الخلفي

والعلاقة بينهما هي:

الانحراف الخلفي = الانحراف الأمامي ± ١٨٠° (٢-٤٣)

حيث:

+ عندما يكون الانحراف المعلوم منهما أقل من ١٨٠°

- عندما يكون الانحراف المعلوم منهما أكبر من ١٨٠°

مثال ١:

أوجد الانحراف الخلفي للخط أ ب الذي يبلغ انحرافه الأمامي ٤٢" ٣٦' ١٣٠° ؟

حيث أن الانحراف المعلوم أقل من ١٨٠° فأن:

الانحراف الخلفي = الانحراف الأمامي + ١٨٠°
= ٤٢" ٣٦' ١٣٠° + ١٨٠°
= ٤٢" ٣٦' ٣١٠°

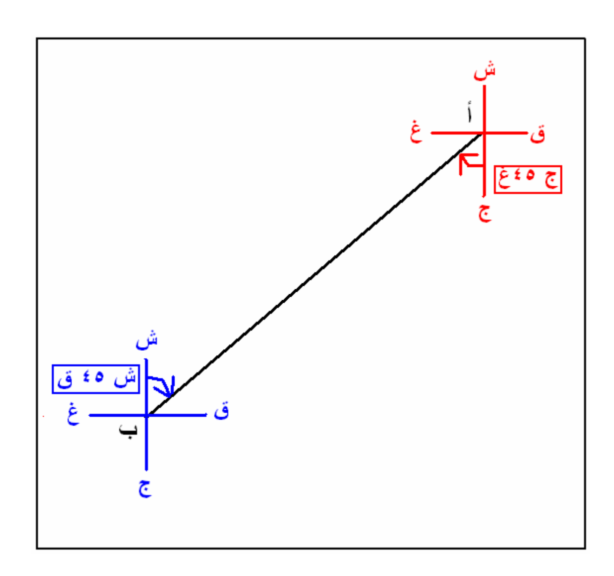
مثال ٢:

أوجد الانحراف الخلفي للخط أ ب الذي يبلغ انحرافه الأمامي المختصر ج ٤٥° غ ؟

الانحراف الأمامي المختصر ج ٤٥° غ يقع في الربع الرابع : إذن:
الانحراف الأمامي الدائري للخط أ ب = ٣٦٠° – خ
= ٣٦٠° - ٤٥° = ٣١٥°
حيث أن الانحراف المعلوم أكبر من ١٨٠° فأن:
الانحراف الخلفي = الانحراف الأمامي - ١٨٠°
= ٣١٥° - ١٨٠° = ١٣٥°

وحيث أن هذا الانحراف الخلفي الدائري يقع في الربع الثاني فأن الانحراف الخلفي المختصر له:
خ = ١٨٠° – د
= ١٨٠° – ١٣٥° = ش ٤٥° ق

إذن الانحراف الخلفي المختصر للخط أ ب (ش ٤٥° ق) يمكن الحصول عليه مباشرة من الانحراف الأمامي المختصر لهذا الخط (ج ٤٥° غ) بمجرد عكس إشارات الربع وبدون أية حسابات حيث تظل قيمة الزاوية كما هي:

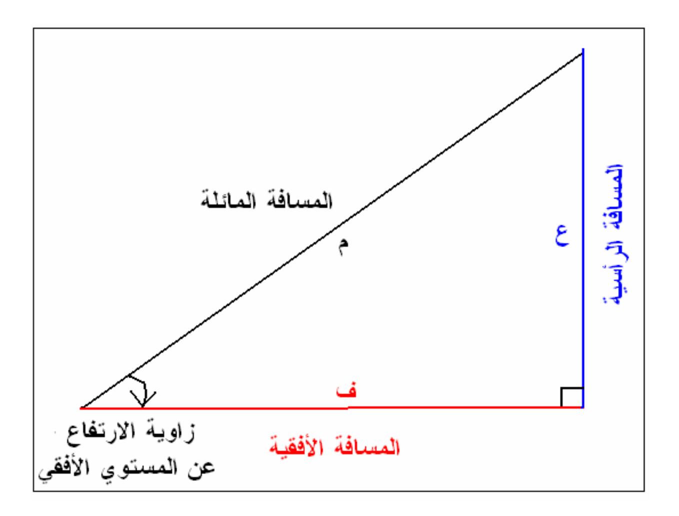


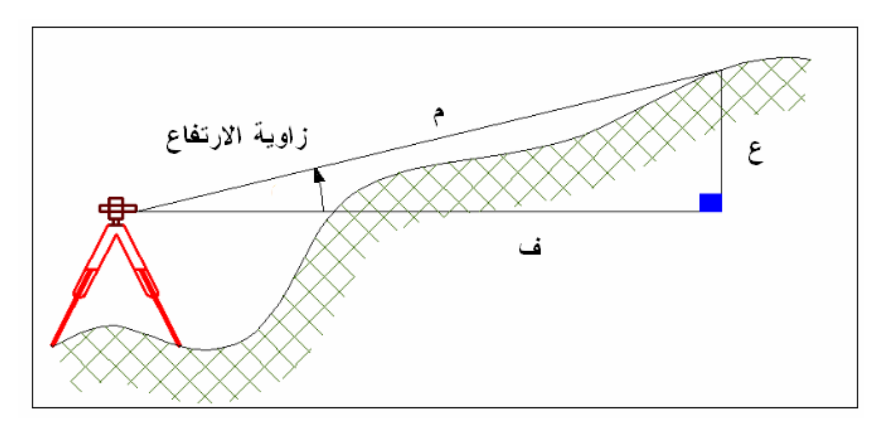
٢-٦ أنواع المسافات:

تنقسم المسافات إلي ثلاثة أنواع: الأفقية والمائلة و الرأسية.

عند قياس المسافة بين نقطتين يقعان علي مستوي أفقي واحد (لا يوجد فرق ارتفاع بينهما) فهذه المسافة تسمي المسافة الأفقية. بينما إذا كانت احدي النقطتين مرتفعة عن الأخرى فالمسافة المقاسة بينهما يطبق عليها اسم المسافة المائلة. أما الفرق في المستوي الرأسي بين هاتين النقطتين (فرق الارتفاع بينهما) فيسمي المسافة الرأسية.

يجمع مثلث قائم الزاوية بين المسافات الثلاثة مما يمكننا من حساب مسافة من مسافة أخري بعدة طرق:





شكل (٢-١٧) أنواع المسافات

م^{٢} = ف^{٢} + ع^{٢}

أي أن:

ف = √ (م^{٢} - ع^{٢}) (٢-٤٤)

وبذلك يمكن حساب المسافة الأفقية (التي يتم توقيعها علي الخرائط) بمعلومية قيمة المسافة المائلة (المقاسة في الطبيعة) والمسافة الرأسية (فرق الارتفاع بين النقطتين).

جتا (زاوية الارتفاع) = ف / م

<u>أي أن:</u>

ف = م × جتا (زاوية الارتفاع) (٢-٤٥)

وبذلك يمكن حساب المسافة الأفقية (التي يتم توقيعها علي الخرائط) بمعلومية قيمة المسافة المائلة (المقاسة في الطبيعة) وقيمة زاوية الارتفاع بين النقطتين.

الفصل الثالث

قياس المسافات

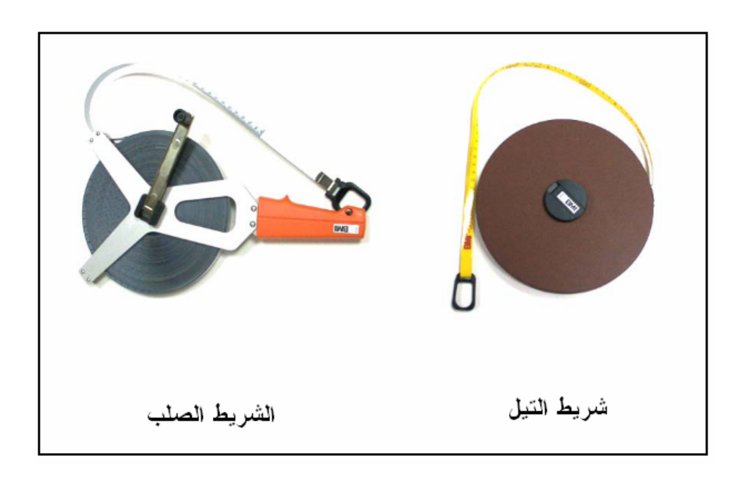
تعد المسافات أحد أهم أنواع القياسات المساحية ، وان كانت هي أقدمها تاريخيا إلا أنها مازالت تحتل جانبا كبيرا من الأهمية في العمل المساحي. وكم هو معروف فأننا نقوم بقياس المسافة المائلة (المباشرة أو الفراغية) في الطبيعة ثم نحولها – حسابيا – إلي المسافة الأفقية التي يتم توقيعها في الخرائط. يوجد أسلوبين لقياس المسافات في الطبيعة: إما بالشريط أو باستخدام جهاز قياس المسافات الكترونيا.

٣-١ قياس المسافات بالشريط Tape:

٣-١-١ أنواع الشرائط:

قبل ابتكار الشريط (بصورته الحالية) كان يتم استخدام ما يسمي بالجنزير chain لقياس المسافات والذي يتكون من عدد من حلقات الحديد التي تكون شريطا له طول معين معاير بدقة.

تصنع الشرائط إما من (١) الصلب أو من (٢) مادة الكتان أو التيل ، بينما للقياسات الدقيقة يتم استخدام (٣) شريط الأنفار (٣٥% من مادة النيل و ٦٥% من الحديد) حيث أن لا يتأثر كثيرا بالحرارة إلا أنه أغلي سعرا من كلا النوعين السابقين. تأتي الشرائط في أطوال محددة هي ١٠، ٢٠ ، ٣٠ ، ٥٠ ، ١٠٠ متر.



شكل (٣-١) أنواع الشريط

يتميز شريط التيل بسهولة حمله لأنه خفيف وعادة يتم استخدامه في الأعمال التي لا تتطلب دقة عالية لأنه يتأثر بالبلل ويتغير طوله نتيجة الشد. أما الشريط الصلب فهو أدق من النوع الأول نظرا لصلابته وقله تمدده أو انكماشه إلا أنه أثقل وزنا من الشريط الكتان كما أنه قابل للصدأ.

٣-١-٢ أدوات مساعدة مع الشريط:

عند قياس المسافات بالشريط (في حالة أن المسافة المطلوب قياسها أكبر من طول الشريط ذاته) فتوجد عدة أدوات مساعدة تشمل:

١- الشواخص Range Pole or Rod:

يتكون الشاخص من عمود خشبي (أو معدني أحيانا) يتراوح طوله بين ٢ و ٥ متر ، ويستخدم في توجيه الخط المطلوب قياسه حتى تكون جميع الأجزاء المقاسة بالشريط واقعه علي الخط المستقيم الواصل بين النقطتين المطلوب قياس المسافة بينهما.

٢- الأوتاد Pegs:

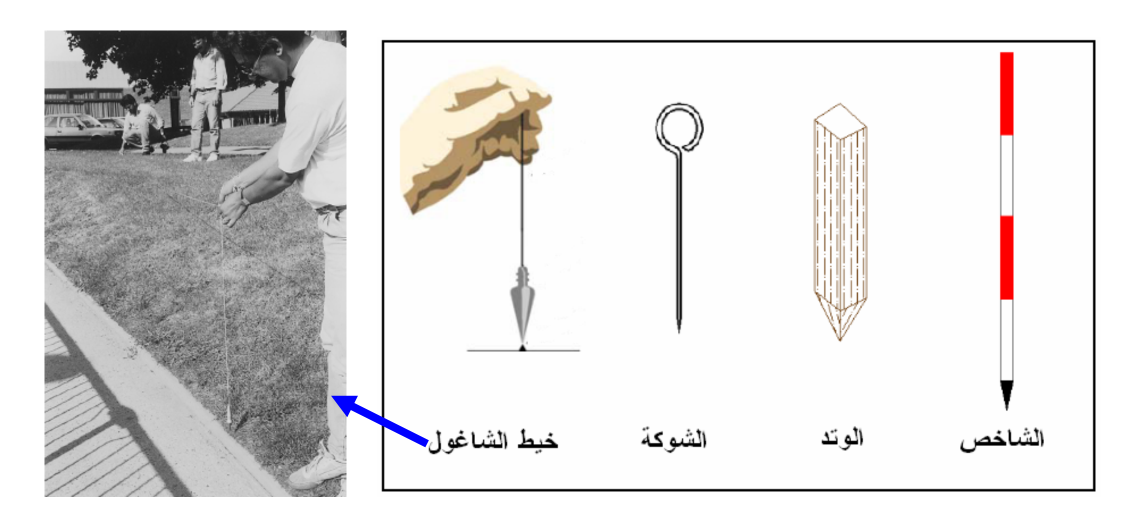
الوتد هو قطعة مضلعة أو مستديرة يتراوح طولها بين ٢٠ و ٣٠ سنتيمتر ويكون طرفها السفلي مدببا ليسهل غرزه في الأرض، وتستخدم لتحديد مكان علامات بداية و نهاية الخط المقاس. الأوتاد أما خشبية تستخدم في الأراضي الزراعية أو حديدية تستخدم في الأراضي الصلبة.

٣- الشوك Pins or Arrows:

وهي عبارة عن أسياخ من الصلب بطول يتراوح بين ٣٠ و ٤٠ سنتيمتر تستخدم لتحديد بداية ونهاية الشريط.

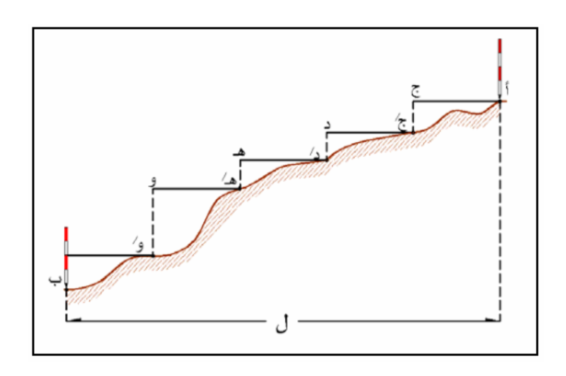
٤- خيط الشاغول Plumb Bob:

وهو خيط ينتهي بقطعة معدنية مخروطة الشكل ذات رأس مدبب ، يستخدم لتحديد مسقط بداية الشريط عندما يكون في وضعه الأفقي أعلي من سطح الأرض.



شكل (٣-٢) أدوات مساعدة مع الشريط

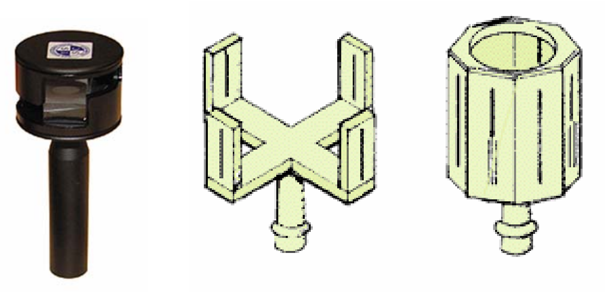
إذا كان قياس المسافة المطلوبة سيتم علي أرض غير منتظمة الميل فيتم تجزئتها إلي عدة أقسام بحيث يكون الشريط في وضع أفقي في كل جزء ، وذلك باستخدام خبط الشاغول:



شكل (٣-٣) قياس المسافات علي أرض مائلة

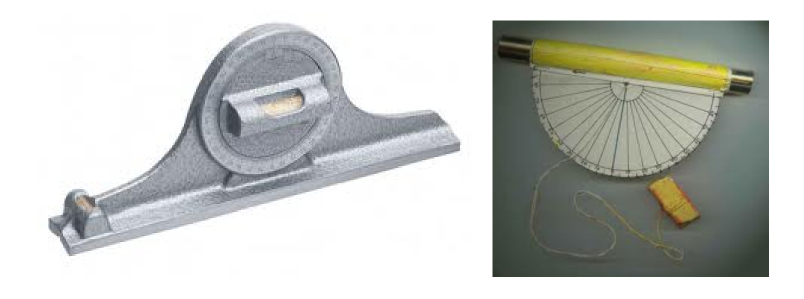
للأعمال المساحية الدقيقة يتم أيضا استخدام ترمومتر لقياس درجة حرارة الجو أثناء القياس ليتم لاحقا تصحيح الخط المقاس بالشريط طبقا لتأثره بالحرارة. كما أيضا يتم استخدام ميزان ماء لضمان أفقية الشريط أثناء قياس المسافة.

يستخدم الشريط أيضا في إقامة عمود (خط يتعامد علي خط موجود في الطبيعة) وذلك بالاستعانة بجهاز آخر يسمي المثلث المساح Cross Staff أو بجهاز المثلث ذو المرآة.



شكل (٣-٤) المثلث المساح

عند قياس مسافة مباشرة كبيرة باستخدام الشريط يتم الاستعانة بجهاز الكلينومتر Clinometer لقياس زاوية الارتفاع حتى يمكن – لاحقا – حساب المسافة الأفقية المناظرة للمسافة المائلة المقاسة:



شكل (٣-٥) الكلينومتر

٣-١-٣ الرفع المساحي بالشريط:

يتكون الرفع المساحي بالشريط من عدة خطوات تشمل:

(أ) استكشاف المنطقة:

يتم التعرف علي المنطقة المطلوب رفعها وذلك بالمرور فيها والتعرف علي معالمها وتكوين فكرة شاكلة عنها وما تحتويه من معالم.

(ب) رسم الكروكي:

يتم رسم كروكي – أو اسكتش – عام لمنطقة العمل لبيان المواقع النسبية التقريبية لمعالم المنطقة.

(ت) اختيار و تثبيت نقاط المضلع:

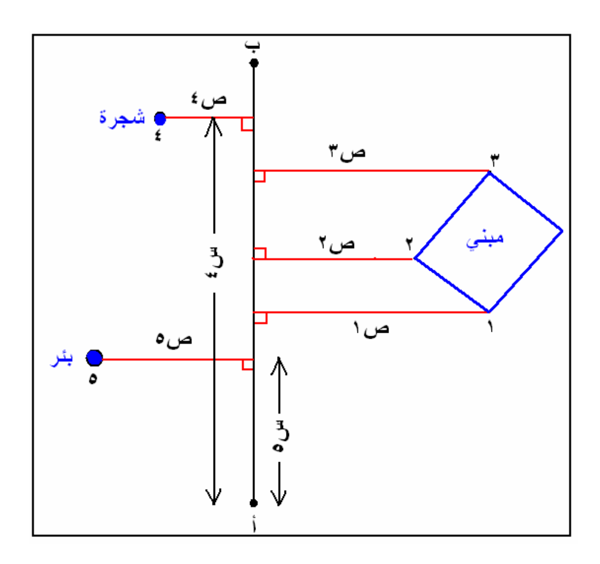
يتم اختيار مواقع لتثبيت نقاط أساسية للرفع المساحي (تسمي نقاط المضلع أو نقاط الهيكل الرئيسي) ثم تثبيت هذه المواقع باستخدام الأوتاد. يتم اختيار نقاط المضلع بحيث تتوافر المواصفات التالية في الخطوط (الوهمية) الواصلة بين نقاط المضلع:

- أن تكون الخطوط أقل ما يمكن أو بقدر حاجة العمل المطلوب فقط.
- أن تكون أطوال الخطوط في حدود ٢٠٠ متر.
- أن تكون أطوال الخطوط متقاربة بقدر الإمكان.
- أن تشكل مواقع النقاط مثلثات فيما بينها ، ويفضا أن تكون زوايا هذه المثلثان ما بين ٣٠° و ١٢٠°.
- أن تكون الخطوط أقرب ما تكون للتفاصيل (المعالم) المطلوب رفعها مساحيا.
- أن تكون مواقع النقاط في مواقع ثابتة فلا تكون في أرض رخوة أو في مواقع تعترض السير أو عرضه للعبث بها.

كما يتم عمل كارت وصف لموقع كل نقطة من نقاط المضلع حتى يمكن إعادة تثبيت النقطة في حالة فقدها. يتكون كارت وصف كل نقطة من تحديد المعالم المحيطة بالنقطة مع قياس المسافة بين النقطة و ثلاثة مواضع ثابتة (أركان مبني علي سبيل المثال).

(ث) الرفع المساحي أو التحشية:

يتم رفع (تحديد موقع) كل معلم من معالم المنطقة من خلال قياس مسافتين: (١) طول العمود من المعلم إلي ضلع الهيكل الرئيسي ، (٢) المسافة من بداية ضلع المهيكل الرئيسي إلي تقاطعه مع هذا العمود. تشبه هذه العملية تحديد الاحداثي س والاحداثي ص لكل معلم إذا أعتبرنا أن ضلع الهيكل الرئيسي يمثل المحور السيني بينما العمودي عليه يمثل المحور الصادي. ويتم تسجيل هذه القياسات لجميع المعالم في ورقة مع رسم كروكي لها:



شكل (٣-٦) الرفع المساحي بالشريط

(ج) العمل المكتبي:

يتطلب رسم خريطة المنطقة - التي تم رفعها مساحيا – عدة خطوات مكتبية تشمل:

- رسم المضلع أو الهيكل الرئيسي بمعلومية أطوال أضلاعه المقاسة وذلك برسم أول (أطول) ضلع منه أولا ، ثم بطريقة تقاطع الأقواس يتم رسم ضلعي المثلث الأول ثم المثلث الثاني و هكذا.
- يتم توقيع مواقع (إحداثيات) كل معلم من المعالم بمعلومية أبعاد التحشية أي المسافتين المقاستين له في الطبيعة (مسافته علي الضلع و العمود منه إلي الضلع).
- يتم رسم إطار للخريطة الناتجة ويضاف إليها عنوانها ومقياس الرسم و اتجاه الشمال ومفتاح الخريطة.

تجدر الإشارة أنه في التطبيقات غير المساحية يمكن استخدام عجلة القياس لقياس المسافات بدقة تصل إلي عشرة سنتيمترات. تتكون عجلة القياس من عجلة متصلة بعداد رقمي يستطيع تحويل عدد لفات العجلة أثناء الحركة إلي قيمة المسافة المقطوعة وذلك بضرب عدد اللفات في قيمة محيط العجلة.



شكل (٣-٧) عجلة قياس المسافات

٣-٢ قياس المسافات الكترونيا:

يعتمد مبدأ قياس المسافات الكترونيا علي المعادلة الرياضية التي تجمع كلا من المسافة و السرعة و الزمن:

المسافة = السرعة × الزمن (٣-١)

فإذا تمكننا من قياس سرعة شعاع أو موجة (كهرومغناطيسية electro-magnetic أو كهروبصرية electro-optical) أثناء انتقاله بين نقطتين وقمنا بقياس الزمن الذي استغرقته هذه الموجة للسفر بين كلا النقطتين فيمكننا حساب المسافة بينهما. بدأ تطبيق هذا المبدأ في مجال المساحة وذلك عن طريق إطلاق موجة من جهاز (عند النقطة الأولي من الخط المطلوب قياسه) إلي النهاية الثانية للخط حيث يوجد جهاز عاكس يقوم بعكس هذه الموجه في نفس مسارها ، ويقوم الجهاز المرسل بقياس الفترة الزمنية التي استغرقتها هذه الموجة منذ إطلاقها:

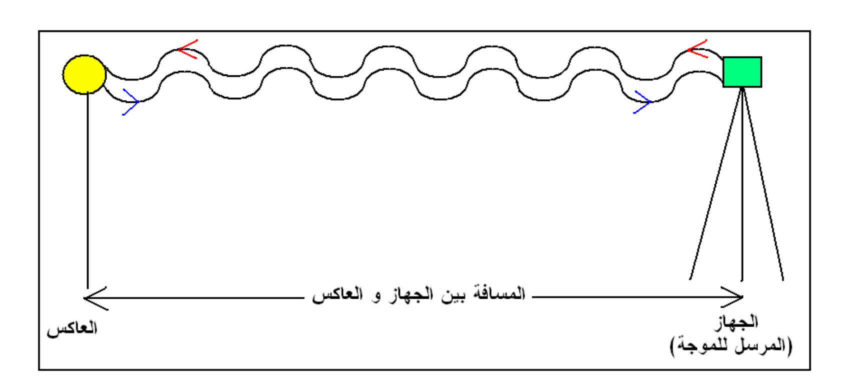
الفترة الزمنية = وقت الاستقبال – وقت الإرسال (٣-٢)

لكن هذه الفترة الزمنية المقاسة هي الزمن الذي استغرقته الموجه (١) منذ صدورها من الجهاز المرسل حتى وصولها للعاكس ثم (٢) عودتها مرة أخري للجهاز المرسل ، أي أنها ضعف الفترة الزمنية بين المرسل و العاكس. لذلك فأن المسافة المحسوبة ستعادل ضعف المسافة بين جهازي المرسل و العاكس:

ضعف المسافة بين المرسل و العاكس = الفترة الزمنية × سرعة الموجة (٣-٣)

المسافة بين المرسل و العاكس = (الفترة الزمنية × سرعة الموجة) ÷ ٢ (٣-٤)

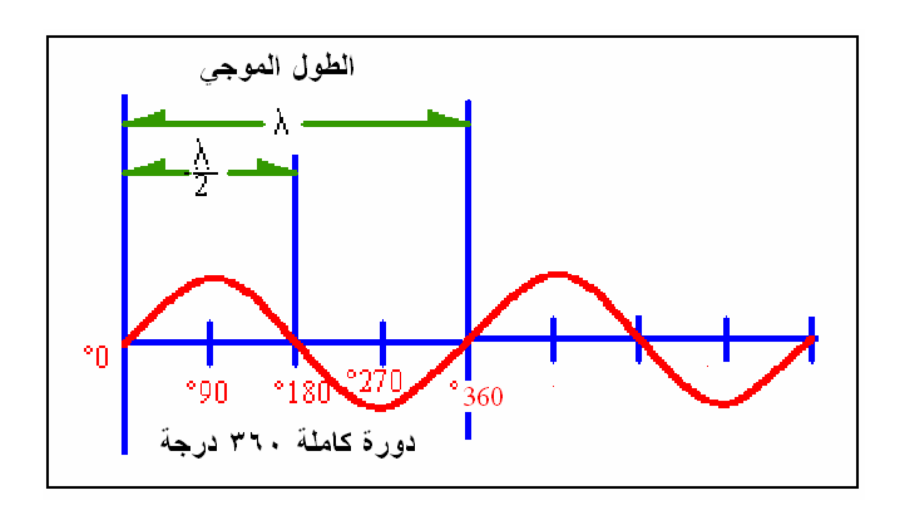
من المعلوم أن أي موجه تسير في الفضاء تكون سرعتها هي سرعة الضوء التي تعادل تقريبا ثلاثمائة ألف كيلومتر في الثانية (أو بالضبط ٢٩٩٧٩٢.٤٥٨ كيلومتر في الثانية) ، أي أن قياس الفترة الزمنية للموجه هو كل ما يلزم لحساب المسافة بين كلا من جهاز الإرسال والعاكس. ومن هنا جاءت فكرة ابتكار أجهزة قياس المسافات الكترونيا Electronic Distance Measurement والتي اختصرت إلي الأحرف الثلاثة EDM.



شكل (٣-٨) مبدأ قياس المسافات الكترونيا

تتأثر سرعة الموجة أثناء مرورها في الغلاف الجوي للأرض تبعا لعوامل انكسار الضوء الناتجة عن اختلاف درجة الحرارة و الضغط الجوي والرطوبة النسبية ، وبالتالي فلن تكون هذه السرعة هي نفس سرعة الضوء في الفراغ. لذلك تعتبر دقة قياس سرعة الضوء هي أهم عوامل قياس المسافات الكترونيا. تتراوح قيمة معامل انكسار الضوء في الغلاف الجوي بين ١.٠٠٠١ و ١.٠٠٠٥ تبعا لتأثير العوامل الجوية ، ولذلك يجب قياس تلك التأثيرات أثناء عملية القياس للحصول علي دقة عالية ، لكن يمكن استخدام قيمة متوسطة لمعامل الانكسار تبلغ ١.٠٠٠٣ للحصول علي دقة مناسبة للأعمال المساحية.

ينتشر الضوء في الغلاف الجوي علي هيئة منحني أقرب ما يكون لمنحني جيب الزاوية sinusoidal curve المعروف الذي يحدد طول الموجة الواحدة wavelength (نرمز لها بالرمز λ) وزاوية الطور Phase angle التي تبلغ ^{o}٣٦٠ درجة للدورة الكاملة (نرمز لها بالرمز θ).



شكل (٣-٩) انتشار الضوء

بالنظر للمعادلة ٣-٤ نجد أنه للوصول لدقة عالية في قياس المسافات الكترونيا فأن أجهزة EDM لابد أن تقيس فرق الزمن للموجة الكهرومغناطيسية بدقة عالية جدا مما يتطلب وجود ساعة ذرية (وهذا سيجعل سعر الجهاز عالي جدا أيضا). بدلا من ذلك فأن أجهزة EDM تعتمد علي طريقة فرق الطور Phase Difference والتي فيها يتم قياس عدد الدورات الكاملة بالإضافة لجزء الدورة الأخيرة للموجة المرسلة من جهاز الإرسال وحتى وصولها إليه مرة أخري بعد انعكاسها من العاكس الموضوع في النهاية الثانية للخط المطلوب قياسه. ويتم حساب المسافة كالآتي:

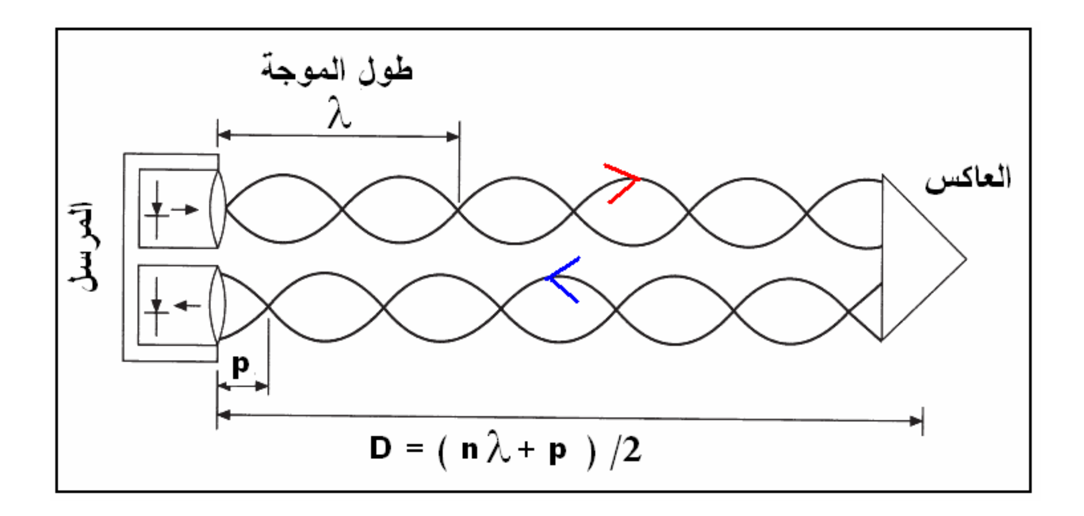
$$D = (n \lambda + p) / 2 \qquad (3\text{-}5)$$

حيث:

D	المسافة المطلوب قياسها
n	عدد الموجات الصحيحة أو الكاملة
λ	الطول الموجي أو طول الموجة
p	طول جزء الموجة المتبقية

ويتم حساب طول جزء الموجة المتبقية بنسبة قيمة زاوية الطور له (θ) ٣٦٠ درجة من طول الموجة الكاملة ، كالآتي:

$$p = (\theta / 360^{\circ}) \lambda \qquad (3-6)$$



شكل (٣-١٠) قياس المسافات الكترونيا بالموجات الكهرومغناطيسية

<u>مثال:</u>

أحسب المسافة بين نقطتين أ ، ب تم قياسها بجهاز EDM يعتمد علي إرسال موجة كهرومغناطيسية يبلغ طول موجتها ٢٠ متر وزاوية الطور لها ٤٢' ١١٥° إذا كان عدد الموجات الصحيحة ٩ موجات.

أولا: نحسب طول جزء الموجة المتبقية:

$$p = (\theta / 360^{\circ}) \lambda$$
$$= [(42' \; 115^{\circ}) / 360^{\circ}] \times 20 = 6.428 \text{ m}$$

ثانيا: نحسب طول المسافة المقاسة:

$$D = (n \lambda + p) / 2$$
$$= [(9 \times 20) + 6.428] / 2$$
$$= 93.214 \text{ m}$$

تتعدد أنواع الأشعة المستخدمة في قياس المسافات الكترونيا وتشمل (١) موجات الراديو وتستخدم في قياس المسافات الطويلة حتى ٥٠-٦٠ كيلومتر ، (٢) الموجات تحت الحمراء وهي الأكثر استخداما الآن في أجهزة المحطات الشاملة Total Station وتستخدم لقياس المسافات ١٠-٣٠ كيلومتر ، (٣) الموجات الضوئية المرئية والتي تستخدم لقياس المسافات الأقل من ١٠ كيلومتر ، (٤) الليزر المرئي للمسافات متناهية الصغر والتي تبلغ عشرات الأمتار.

بدأ إنتاج أجهزة قياس المسافات الكترونيا EDM منذ بداية الخمسينات من القرن العشرين الميلادي وكانت أجهزة منفصلة يتم تركيبها فوق أجهزة قياس الزوايا (الثيودليت) بحيث يتم قياس الزاوية و المسافة في نفس الوقت.



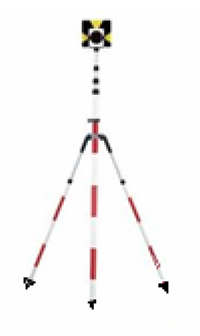


شكل (٣-١١) أجهزة قياس المسافات الكترونيا

معظم أجهزة المساحة لقياس المسافات الكترونيا تعتمد علي وجود عاكس Reflector أو منشور عاكس Prism يقوم بعكس الموجة إلي جهاز الاستقبال مرة أخري. يتكون العاكس من منشور من الزجاج النقي مطلي بمادة الفلوريسنت - لزيادة قوة انعكاس الأشعة - يوضع غالبا داخل إطار بلاستيكي ملون لسهولة رؤيته من مسافات كبيرة. وقد يوضع العاكس علي حامل ثلاثي لضمان وقوعه رأسيا أعلي النقطة المحتلة بالضبط (للقياسات المساحية الدقيقة) أو يوضع أعلي عصا pole يمسكها الراصد بيده.









شكل (٣-١٢) عواكس أجهزة قياس المسافات الكترونيا

أيضا توجد أهداف عاكسة Reflective Sheet يمكن استخدامها بديلا عن العاكس وهي عبارة عن ألواح رقيقة يتم طلاؤها بمادة الفلوريسنت العاكسة للأشعة. تستخدم الأهداف العاكسة في الطبيعة للمواقع التي لا يمكن تثبيت العاكس عندها مثل الحوائط و الأعمدة الخرسانية.

كما توجد أجهزة مساحية يمكنها قياس المسافات الكترونيا بدون عاكس Reflector-Less (للمسافات القصيرة وحتي مئات الأمتار) وذلك باستخدام موجات تتميز بخاصية الانعكاس عند اصطدامها بأي هدف. وبذلك فأن هذه النوعية من الأجهزة المساحية تمكننا من قياس المسافات

دون الحاجة لاحتلال نقطة نهاية الخط ، أي يمكننا قياس المسافة إلي أعلي قمة برج أو إلي خط تيار كهربائي .... الخ.

تم إنتاج بعض أجهزة قياس المسافات الكترونيا (باستخدام موجات الليزر المرئي) مخصصة للأعمال الهندسية البسيطة (غير المساحية) حيث أصبحت هذه الأجهزة محمولة يدويا hand-held ليتم استخدامها بصورة سريعة و بسيطة (داخل المنشئات و المباني مثلا) لقياس المسافات الصغيرة وبدقة سنتيمترات.





شكل (٣-١٣) أجهزة محمولة لقياس المسافات الكترونيا

تتأثر أجهزة قياس المسافات الكترونيا بعدة مصادر للأخطاء أهمها هو تأثير عوامل الطقس (الحرارة و الضغط الجوي و الرطوبة النسبية) عند نقطة جهاز الإرسال. لذلك توجد بعض التصحيحات الواجب حسابها لتصحيح المسافة المقاسة وتقدير المسافة الدقيقة بين جهازي المرسل و العاكس.

يعبر عن دقة المسافة المقاسة بأجهزة EDM في صورة نسبية ، أي أنها تتناسب مع طول المسافة المقاسة. أي أن دقة جهاز EDM تتكون من جزأين: (أ) خطأ ثابت القيمة و (٢) خطأ نسبي يعتمد علي طول المسافة المراد قياسها.

<u>مثال:</u>

دقة أحد أجهزة EDM = ± ٥ مللي + ٣ جزء في المليون (part per million or ppm)
= ± ٥ مللي + ٣ مللي لكل كيلومتر من طول الخط المقاس.

أي أن الجهاز به خطأ ثابت يبلغ ± خمسة ملليمترات (في هذا المثال) ، وأيضا خطا نسبي يعتمد علي طول المسافة المراد قياسها.

فإذا كان طول الخط المقاس يبلغ <u>٢ كيلومتر</u> فأن:

دقة أحد أجهزة EDM = ± ٥ مللي + ٣ مللي لكل كيلومتر من طول الخط المقاس.
= ± ٥ مللي + (٣ × ٢)
= ± ٥ مللي + ٦ مللي
= ± ١١ مللي

الجدول التالي يوضح أمثلة لمواصفات بعض أجهزة قياس المسافات الكترونيا EDM :

الجهاز	مدي القياس نهارا (كيلومتر)	دقة القياس (سنتيمتر)
Geodemetr NASM-4	٤.٥	0.5 ± 2 ppm
EOS-Ziess	٥	0.5 ± 2 ppm
Sokkia RED 2L	٥	0.5 ± 5 ppm
Geodemetr NASM-8	٣٠	1.0 ± 1 ppm
Tellurometer CA 1000	٦٠	2 ± 5 ppm
Wild DI 60	١٥٠	1 ± 4 ppm
HP 3805A	١٥٠	0.5 ± 1 ppm
Tellurometer MRA5	١٥٠	2 ± 5 ppm

الفصل الرابع

قياس الانحرافات

تاريخيا تطورت أعمال الرفع المساحي لتشمل – بالإضافة لقياسات الشريط - قياس الانحرافات المغناطيسية للمعالم مع اختراع أجهزة البوصلة المغناطيسية. ربما يعود ذكر البوصلة كأول مرة إلي الصين في عام ١١٠٠ م تقريبا ، إلا أن علماء المسلمين قد أسهموا في تطوير هذا الجهاز واستخدامه في الملاحة البحرية وخاصة العالم العربي الكبير ابن ماجد في عام ١٤٥٠م تقريبا. مع أن البوصلة أصبحت غير مستخدمة الآن في القياسات المساحية الدقيقة إلا أنها ربما تستخدم في أعمال الاستكشاف المبدئي للمنطقة المراد رفعها.

٤-١ البوصلة المغناطيسية:

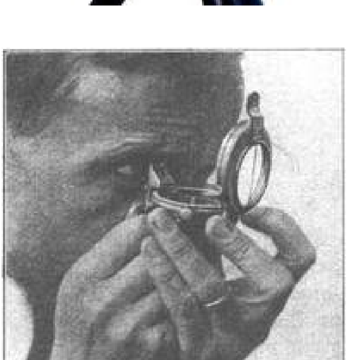
تتكون البوصلة من إبرة مغناطيسية تترك حرة الحركة داخل علبة بها قرص مدرج من صفر اتلي ٣٦٠ درجة ستينية. تستخدم البوصلة لقياس الانحرافات المغناطيسية (هي الجهاز المساحي الوحيد لقياس الانحرافات المغناطيسية) بدقة ١ درجة ستينية أو أقل ، ولذلك فأنها لا تستخدم في الأعمال المساحية الدقيقة.

يوجد نوعين رئيسين من البوصلة المغناطيسية هما بوصلة المساحٍ Surveyor's Compass و البوصلة المنشورية Prismatic Compass وهي النوع الأحدث المنتشر حاليا.









شكل ٤-١ البوصلة المغناطيسية

تتميز البوصلة بعدة مميزات منها أنها خفيفة الوزن و بسيطة وسهل العمل بها ، كما أن الانحراف المقاس لأي خط مستقل عن انحراف أي خط آخر وبذلك لا تتراكم أخطاء القياس. تتركز أهم عيوب البوصلة المغناطيسية في دقتها القليلة حيث تقيس الانحرافات بدقة ١٠ دقائق ستينية في أحسن الأحوال ، كما أنهما تتأثر بالجاذبية المحلية في منطقة الرصد بالإضافة إلي أنها تعتمد علي التوجيه البصري مما لا يجعلها مناسبة للمسافات البعيدة.

٤-٢ الرفع المساحي بالبوصلة المغناطيسية:

تتكون خطوات الرفع المساحي بالبوصلة من نفس خطوات الرفع المساحي بالشريط (الفصل الثالث) لكنها تختلف في أساليب وتفاصيل القياسات سواء للمضلع الرئيسي أو لعملية التحشية. تشمل أرصاد إنشاء مضلع البوصلة قياس قيمة الانحراف المغناطيسي لكل ضلع من أضلاعه. يبدأ الراصد من النقطة أ (مثلا) حيث يضع البوصلة المغناطيسية أعلي النقطة تماما بالاستعانة بخيط الشاغول ، يتم وضع البوصلة في الوضع الأفقي سواء بالاكتفاء بالنظر أو باستخدام ميزان تسوية ، يوجه الراصد دليل البوصلة إلي الشاخص الموجود في النقطة التالية من نقاط المضلع بحيث تكون فتحة منشور البوصلة والشعرة الرأسية لها علي استقامة واحدة مع الشاخص ، ثم يقرأ الراصد قيمة انحراف هذا الخط علي تدريج البوصلة ويقوم بتسجيله في دفتر الأرصاد. ثم يتم تكرار نفس الخطوات لقياس انحراف النقطة الثانية من نقاط المضلع (من شروط المضلع أن كل نقطة تستطيع رؤية نقطتين علي الأقل من نقاط المضلع). بعد ذلك ينتقل الراصد للنقطة الثانية ويكرر نفس الخطوات.

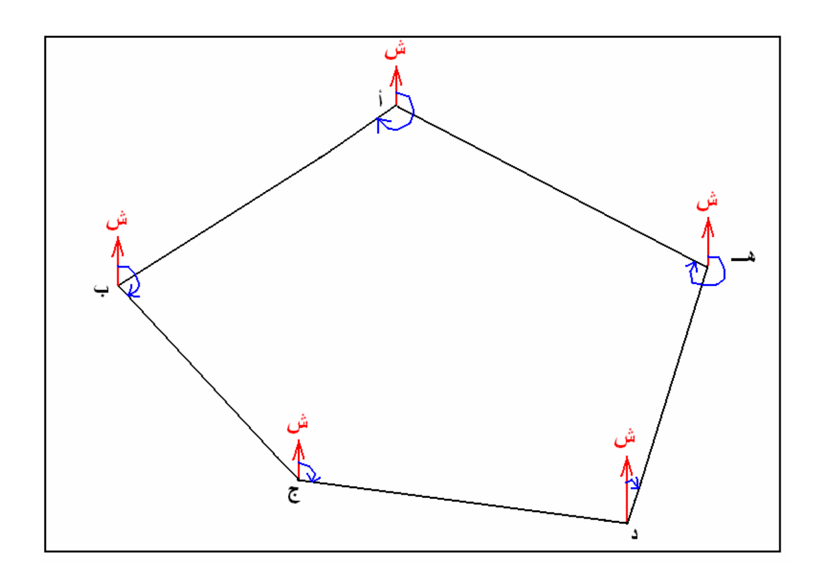
من الانحرافات المغناطيسية يمكن حساب قيم الزوايا الداخلية للمضلع كالآتي:

الزاوية الداخلية عند أي نقطة = الانحراف الخلفي للضلع السابق –
الانحراف الأمامي للضلع اللاحق للنقطة (٤-١)

وإذا كان الانحراف الخلفي للضلع السابق أكبر من الانحراف الأمامي للضلع اللاحق فيضاف ٣٦٠° :

مثال:

للمضلع التالي تم قياس الانحراف المغناطيسي الأمامي و الخلف لكل ضلع من أضلاع المضلع فكانت كالآتي:



شكل ٤-٢ مثال لمضلع البوصلة

النقطة	الضلع	الانحراف الأمامي	الانحراف الخلفي
أ	أ ب	°٢٤٣ '٢٠	°٠٦٢ '٢٠
ب	ب ج	°١٥٤ '٠٠	°٣٣٤ '٠٠
ج	ج د	°١٠٦ '١٥	°٢٨٦ '١٥
د	د هـ	°٠٢٩ '٠٥	°٢٠٩ '٠٥
هـ	هـ أ	°٣٠٢ '٣٠	°١٢٢ '٣٠

الزاوية الداخلية عند أ = هـ أ ب = الانحراف الأمامي أ ب – الانحراف الخلفي هـ أ
= °٢٤٣ '٢٠ - °١٢٢ '٣٠ = °١٢٠ '٥٠

الزاوية الداخلية عند ب = أ ب ج = الانحراف الأمامي ب ج – الانحراف الخلفي أ ب
= °١٥٤ '٠٠ - °٠٦٢ '٢٠ = °٩١ '٤٠

الزاوية الداخلية عند ج = ب ج د = الانحراف الأمامي ج د – الانحراف الخلفي ج ب
= °١٠٦ '١٥ - °٣٣٤ '٠٠ + °٣٦٠ '٠٠
= °١٣٢ '١٥

الزاوية الداخلية عند د = ج د هـ = الانحراف الأمامي د هـ – الانحراف الخلفي د ج
= °٠٢٩ '٠٥ - °٢٨٦ '١٥ + °٣٦٠ '٠٠
= °١٠٢ '٥٠

الزاوية الداخلية عند هـ = د هـ أ = الانحراف الأمامي هـ أ – الانحراف الخلفي هـ د
=٣٠' ٣٠٢° - ٠٥' ٢٠٩°
= ٢٥' ٠٩٣°

للتحقيق نطبق القانون العام لأي شكل مغلق أيا كان عدد أضلاعه وهو:

مجموع الزوايا الداخلية لأي مضلع = (ن – ٢) × ١٨٠° (٤-٢)

أو:

مجموع الزوايا الداخلية لأي مضلع = (٢ ن – ٤) × ٩٠°

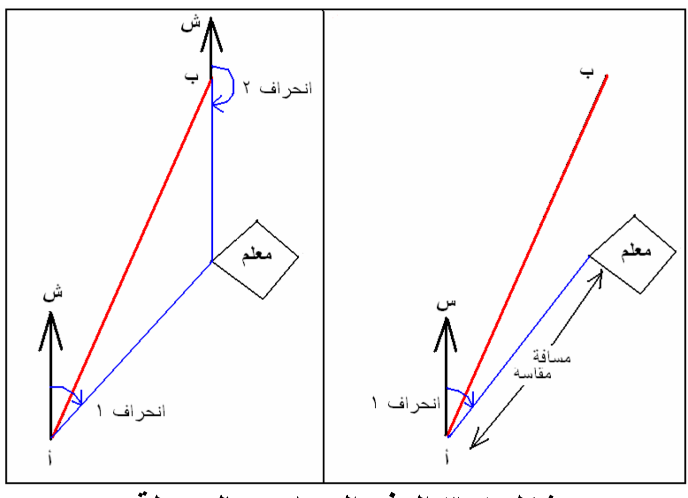
حيث: ن = عدد نقاط المضلع

إذن في المثال الحالي:
مجموع الزوايا الداخلية = (ن – ٢) × ١٨٠°
= (٥ – ٢) × ١٨٠° = ٥٤٠°

بينما:
مجموع زوايا المضلع المحسوبة = ٥٠' ١٢٠° + ٤٠' ٩١° + ١٥' ١٣٢° +
٥٠' ١٠٢° + ٢٥' ٠٩٣°
= ٠٠' ٥٤١°

أي أن:
الخطأ في قياسات هذا المضلع = ٠٠' ٥٤١° - ٠٠' ٥٤٠° = ٠٠' ١°

أما في الرفع المساحي للمعالم أو الظواهر الموجودة في منطقة العمل (التحشية) فتوجد طريقتان لتحديد موقع كل معلم: (١) بقياس الانحراف المغناطيسي للخط الواصل من نقطة المضلع إلي الهدف مع قياس طول هذا الخط ، أو (٢) قياس انحرافين لهذا المعلم من نقطتين من نقاط المضلع.



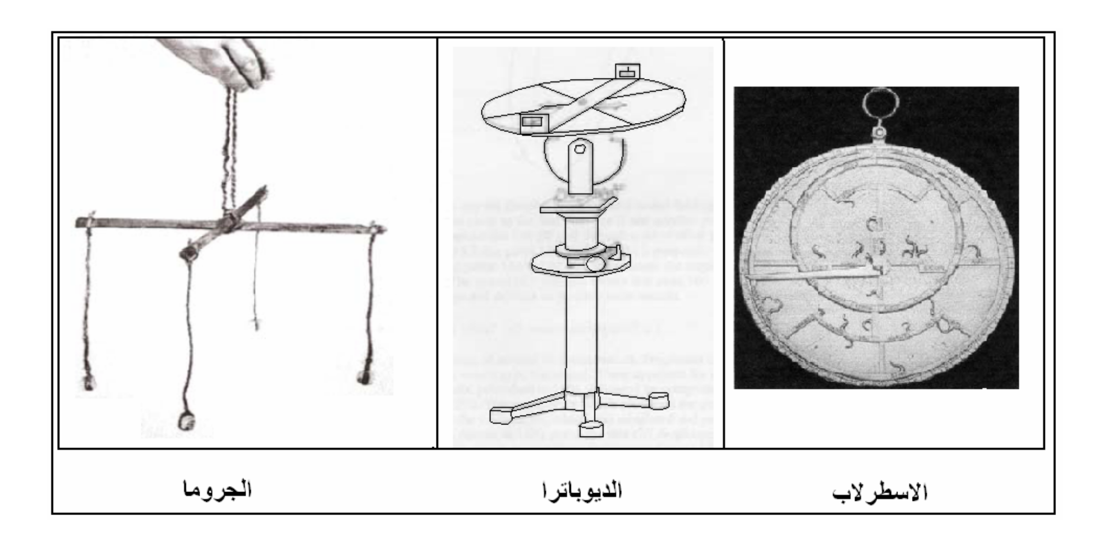
شكل ٤-٣ الرفع المساحي بالبوصلة

الفصل الخامس

قياس الزوايا (جهاز الثيودليت)

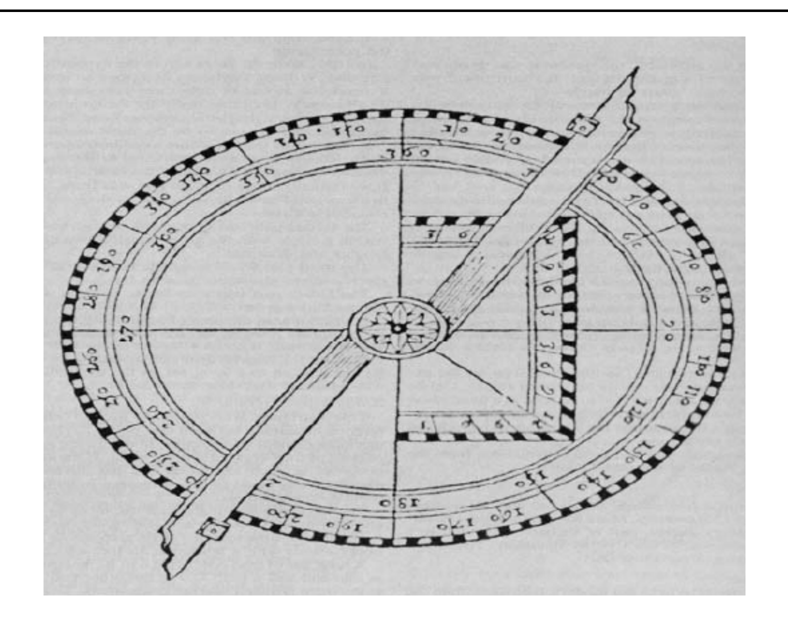
٥-١ نبذة تاريخية:

تعد قياسات الزوايا من أهم أنواع القياسات المساحية والتي عرفها الإنسان منذ آلاف السنين. يمكن اعتبار جهاز الجروما Groma هو أول جهاز بدائي أبتكره قدماء المصريين في عام ١٥٠٠ قبل الميلاد تقريبا لإنشاء الزوايا القائمة في الطبيعة. وربما أستمر العمل بهذا الجهاز لعدة قرون قبل أن يتم ابتكار جهاز الديوبترا Dioptra من قبل الرومان في عام ١٥٠ ميلادي تقريبا. أما أول جهاز ملاحي حقيقي فقد كان الاسطرلاب الذي أخترعه علماء المسلمين في حوالي القرن الثامن الميلادي.



شكل (٥-١) أجهزة قياسات زاوية تاريخية

أما أسم الثيودليت Thedolite فقد ظهر لأول مرة في عام ١٥٧١م في كتاب للعالم ليونارد ديجيس Leonard Digges ، ويتكون الجهاز من تدريج دائري أفقي مركب علي عمود رأسي حيث كانت تقاس الزوايا من خلال زوج من النظرات (أو الشعرات) مركبين علي مسطرة دوارة. وفي عام ١٦٣١م أخترع العالم بيير فيرنر Pierre Vernier أول جهاز ورنية Vernier (أطلق عليها أسمه) وهي تدريج إضافي يركب علي التدريج الأصلي لزاوية الثيودليت بحيث يمكن قياس الزوايا بأجزاء من الدرجة. إلا أن أهم أنواع أجهزة الثيودليت المساحي الدقيق بدأ في الظهور تقريبا في العشرينات من القرن العشرين الميلادي علي يد السويسري هينريك فيلد Heinrich Wild وهو الاسم الشهير في عالم تصنيع الثيودليت المسمي بأسمه Wild الذي ظل لعقود طويلة أشهر و أدق أنواع الأجهزة المساحية لقياس الزوايا (مثل جهاز ثيودليت Wild T2 الشهير).



شكل (٥-٢) أول جهاز ثيودليت في التاريخ



شكل (٥-٣) جهاز الثيودليت الشهير Wild T2

أشهر الشركات المصنعة لأجهزة الثيودليت تشمل:

اسم الشركة	الموقع علي الانترنت
Leica	/http://www.leica-microsystems.com
Sokkia	/http://www.sokkia.com
Trimble	/http://www.trimble.com
Topcon	/http://global.topcon.com
Spectra Precision	http://www.spectraprecision.com/det2.aspx
Geomax	/http://www.geomax-positioning.com
Prexiso	http://www.prexiso.com/en/electronic-theodolite_88.htm
Pentax	http://www.pentax.jp/english/globalsites/index.html

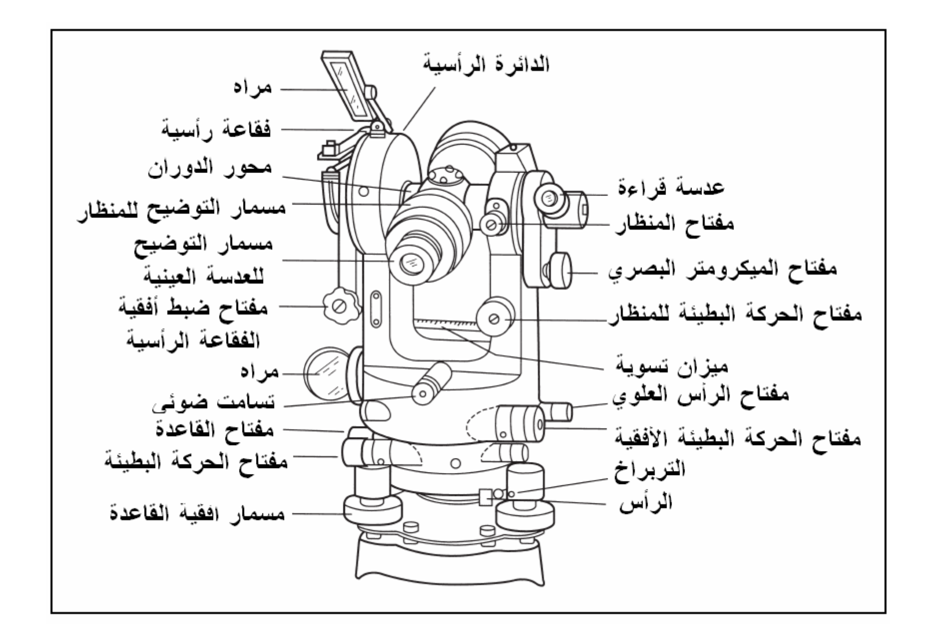
٥-٢ جهاز الثيودليت:

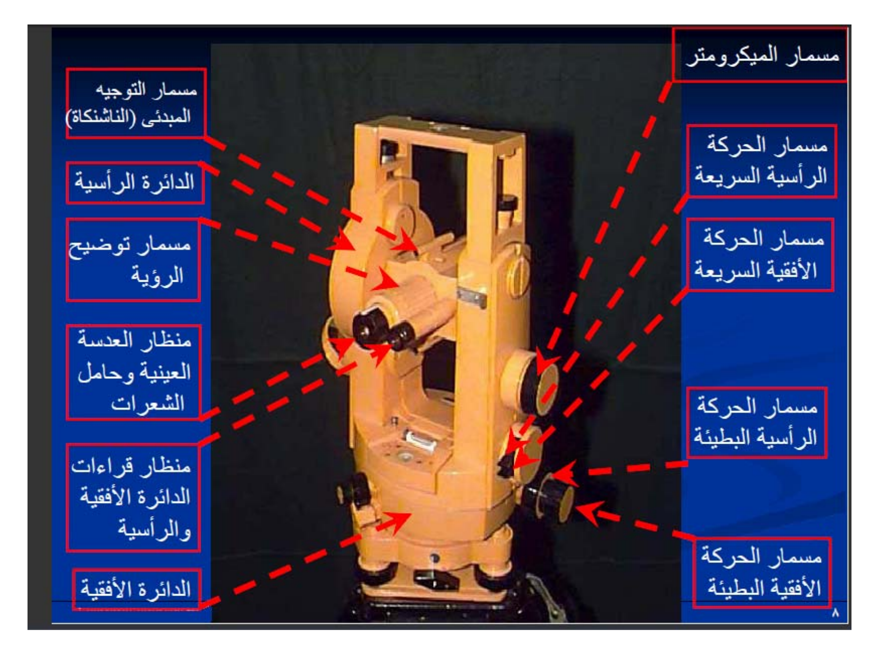
يمكن تقسيم أجهزة الثيودليت المساحية إلي مجموعتين: الأجهزة البصرية و الأجهزة الرقمية. كما توجد أنواع خاصة من أجهزة الثيودليت مثل جهاز الجيرو-ثيودليت Gyro-Theodolite المستخدم للقياسات تحت سطح الأرض (في المناجم و الأنفاق).

٥-٢-١ الثيودليت البصري:

يتكون الثيودليت البصري (التقليدي) من عدد من الأجزاء الأساسية تشمل:

- الترابراخ: القاعدة التي تجمع فوقها كل أجزاء الجهاز والتي بها ثلاثة مفاتيح لضبط أفقية ميزان التسوية (فقاعة الماء) المثبت عليها ، بالإضافة لمنظار تسامت ضوئي لضمان وقوع محور الجهاز أعلي النقطة الأرضية.
- الجزء السفلي: يحتوي الدائرة الأفقية لقياس الزوايا الأفقية ولها مفتاحين للحركة أحدهما للحركة الأفقية السريعة والآخر للحركة الأفقية البطيئة.
- الجزء العلوي أو الأليداد: يحتوي الدائرة الرأسية لقياس الزوايا الرأسية بالإضافة لميزان تسوية (فقاعة) رأسي.
- المنظار (التلسكوب) المجهز أيضا بمفتاحين للحركة الرأسية (السريعة و البطيئة) بالإضافة لعدستين عينية (القريبة من عين الراصد) و شيئية (الموجهة للهدف) ومعهما مفتاح لتوضيح الرؤية لكل عدسة.

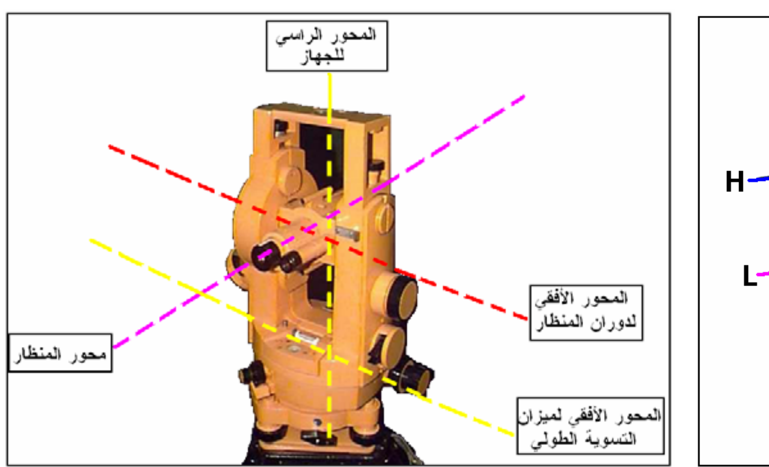


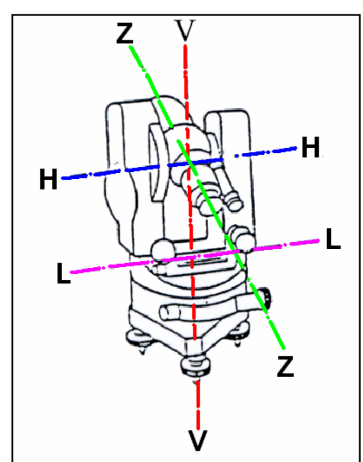


شكل (٥-٤) أجزاء الثيودليت

لجهاز الثيودليت ٤ محاور تتكون من:

١. المحور الرأسي V-V: يمر بمركز الدائرة الأفقية ويدور الجهاز حوله في مستوي أفقي.
٢. المحور الأفقي H-H: يمر بمركز الدائرة الرأسية ويدور الجهاز حوله في مستوي رأسي.
٣. محور ميزان التسوية الطولي L-L: الخط المستقيم المماس لميزان التسوية الطولي عند المنتصف.
٤. محور خط النظر Z-Z: الخط الواصل بين نقطة تقاطع حامل الشعرات للعدسة العينية والمركز الضوئي للعدسة الشيئية.





شكل (٥-٥) محاور الثيودليت

٥-٢-٢ الثيودليت الرقمي:

الثيودليت الرقمي أو الالكتروني هو ثيودليت عادي تم إضافة شاشة الكترونية له لتظهر عليها الزوايا المرصودة بدلا من قرائنها يدويا في الثيودليت العادي. يحتاج الثيودليت الرقمي لبطارية لتشغيله وبعض أنواعه تحتوي علي كارت ذاكرة لتخزين القياسات ثم نقلها مباشرة للحاسب الآلي.



شكل (٥-٦) الثيودليت الرقمي

يتميز الثيودليت الرقمي بسهولة تشغيله وسرعته في انجاز العمل المساحي إلا أنه أغلي سعرا من الثيودليت العادي.

٥-٣ ضبط الثيودليت:

يتكون ضبط الثيودليت من نوعين:

(١) الضبط الدائم وهو ضمان وضع و كفاءة تشغيل جميع أجزاء الثيودليت ، وغالبا يتم هذا النوع من الضبط في المصنع أو لدي الوكيل. يشمل الضبط الدائم ضمان العلاقات الأساسية بين محاور الثيودليت:

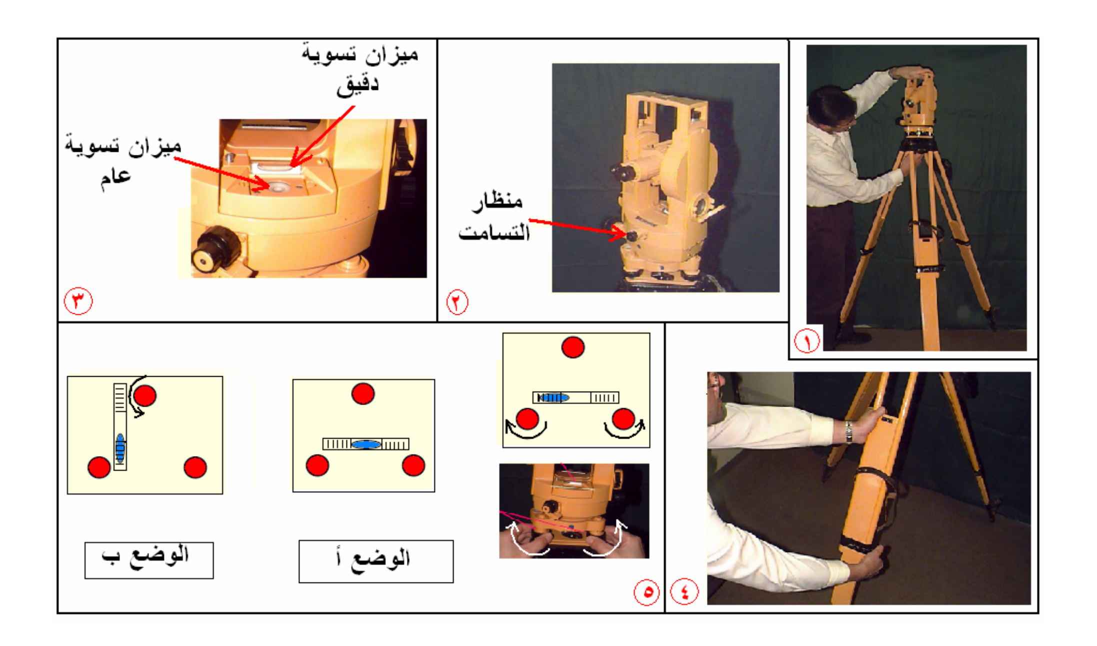
- مستوي الدائرة الأفقية عمودي علي المحور الرأسي للجهاز.
- مستوي الدائرة الرأسية عمودي علي المحور الأفقي للجهاز.
- المحور الأفقي للجهاز عمودي علي المحور الرأسي للجهاز.
- محور خط النظر عمودي علي المحور الأفقي للجهاز.

(٢) الضبط المؤقت وهو ما يتم عند كل استخدام للجهاز لقياس الزوايا أي عند كل نقطة في الموقع.

يتكون الضبط المؤقت للثيودليت من خطوتين يتم إجراؤهما بالتبادل و التكرار: ضبط الأفقية levelling لضمان وضع الجهاز في وضع أفقي تماما و ضبط التسامت centring لضمان وقوع المحور الرأسي للجهاز أعلي النقطة المساحية الأرضية تماما.

خطوات الضبط المؤقت للثيودليت (شكل ٥-٧):

- وضع الحامل الثلاثي أعلي النقطة الأرضية بالتقريب مع غرس الحامل في الأرض لضمان ثباته ، ثم ربط جهاز الثيودليت فوقه علي أن تكون أرجل الحامل الثلاثي متساوية الطول تقريبا (١).
- النظر في منظار التسامت (٢) لمعرفة موقع الجهاز من النقطة الأرضية ، ثم تحريك رجلين (أو شعبتين) من أرجل (شعب) الحامل الثلاثي بصورة دائرية حتى نري النقطة الأرضية في مركز منظار التسامت.
- ننظر لميزان التسوية العام (٣) لنري وضع فقاعة المياه التقريبية.
- إن كانت أفقية الجهاز غير مضبوطة نقوم بضبطها من خلال رفع أحد شعب (أرجل) الحامل الثلاثي لأعلي أو لأسفل من المسمار الذي يربط كلا جزأي الشعبة من منتصفها (٤).
- لضبط أفقية الجهاز بصورة تامة ننظر في ميزان التسوية الدقيق (٣) ونحرك الجهاز أفقيا حتى يكون موازيا لمسمارين من مسامير التسوية ثم نحرك كلا المسمارين معا بنفس الاتجاه سواء للداخل أو للخارج حتى تصبح الفقاعة في المنتصف تماما (٥ الوضع أ).
- ندير الجهاز أفقيا بزاوية ٩٠ درجة حتى يكون ميزان التسوية الدقيق عمودي علي الاتجاه السابق ، وننظر في ميزان التسوية الدقيق ونضبطه باستخدام المسمار الثالث من مسامير التسوية (٥ الوضع ب).
- نعود للنظر في منظار التسامت فان كانت النقطة الأرضية لم تعد في مركزه تماما فنقوم بفك مسمار تثبيت الثيودليت في قاعدة الحامل الثلاثي ثم نحرك الثيودليت (وليس الحامل الثلاثي) حتى نعيد وضع النقطة الأرضية في مركز منظار التسامت مرة أخري.
- أحيانا – وبعد إعادة ضبط التسامت في الخطوة السابقة – تكون أفقية الجهاز قد تغيرت قليلا مما يلزم إعادة ضبطها بنفس الطريقة مرة أخري.
- نكرر هذه الخطوات بالتبادل حتى نضمن أن كلا من التسامت و الأفقية قد تحققا تماما.



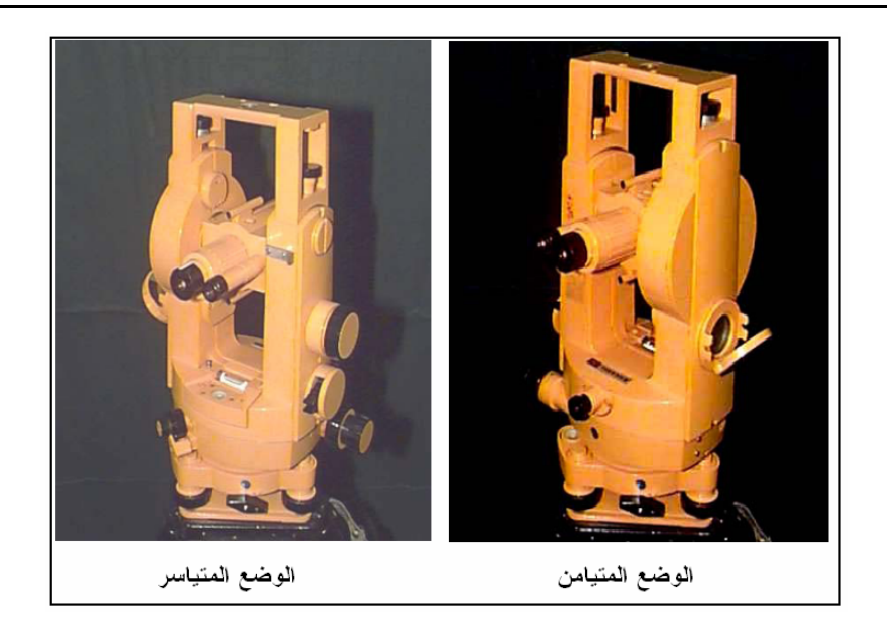
شكل (٥-٧) الضبط المؤقت للثيودليت

٥-٤ الرفع المساحي بالثيودليت:

تتكون خطوات الرفع المساحي بالثيودليت من نفس الخطوات الرئيسية كما في الرفع بالشريط أو الرفع بالبوصلة (إلا أنها تختلف في كيفية تنفيذ العمل المساحي):

١. الاستكشاف وعمل كروكي عام للمنطقة.
٢. اختيار و تثبيت نقاط المضلع الأساسي.
٣. قياسات المضلع الأساسي.
٤. الرفع التفصيلي للمعالم (التحشية).
٥. العمل المكتبي و الحسابات.
٦. رسم الخريطة.

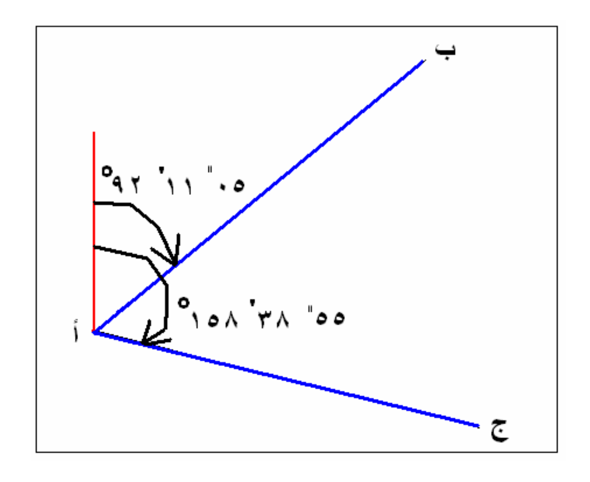
للحصول علي دقة عالية في قياس الزوايا الأفقية بجهاز الثيودليت فيتم قياس (أو رصد) كل زاوية في وضعين مختلفين للجهاز: (أ) الوضع المتيامن Face Right وهو عندما تكون الدائرة الرأسية للثيودليت علي يمين الراصد ، (ب) الوضع المتياسر Face Left وهو عندما تكون الدائرة الرأسية للثيودليت علي يسار الراصد. فإذا بدأنا بالوضع المتيامن فبعد قراءة الزاوية نقوم بلف الجهاز أفقيا ١٨٠ درجة ثم لف المنظار رأسيا ٩٠ درجة لنحصل علي الوضع المتياسر ونقوم بإعادة التوجيه وقراءة الزاوية الأفقية مرة أخري. الفرق بين كلا قراءتي الوضعين المتيامن و المتياسر هو ١٨٠ درجة إلا أنه ربما يوجد فرق بسيط سواء في الثواني أو الدقائق. تجدر الإشارة إلي أنه للتغلب علي تأثير الانكسار الضوئي علي أرصاد الثيودليت فأن أفضل أوقات الرصد تكون في فترة الصباح الباكر وفترة ما قبل الغروب مع تجنب العمل في الفترة قبل و بعد الظهر مباشرة حيث يحدث أكبر تأثير للانكسار في الغلاف الجوي.



شكل (٥-٨) أوضاع الرصد بالثيودليت

توجد عدة طرق لرصد الزوايا الأفقية بالثيودليت مثل طريقة التكرار و طريقة الزوايا الفردية و طريقة الاتجاهات. تعد طريقة الزوايا الفردية أسهل و أسرع طرق الرصد بالثيودليت وهي تعتمد علي قياس كل زاوية منفردة من خلال الوضعين المتيامن و المتياسر للثيودليت. يتم حساب متوسط كلا الوضعين (للدقائق والثواني فقط) لحساب قيمة الاتجاه لكل نقطة مرصودة، ثم نحسب قيمة الزاوية عن طريق طرح متوسط الاتجاهين. الجدول التالي يمثل أرصاد قياس الزاوية أ ب ج:

النقطة المرصودة	الوضع المتيامن	الوضع المتياسر	المتوسط	الزاوية
ب	٩٢° ١١' ٠٠"	٢٧٢° ١١' ١٠"	٠٩٢° ١١' ٠٥"	٥٠" ٢٧' ٠٦٦°
ج	١٥٨° ٣٨' ٥٠"	٣٣٨° ٣٩' ٠٠"	١٥٨° ٣٨' ٥٥"	

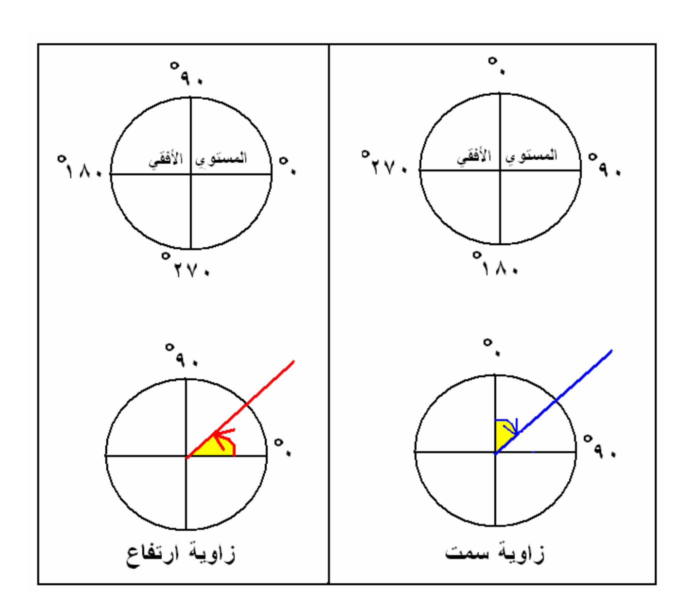


شكل (٥-٩) مثال لزاوية مرصودة بالثيودليت

يوجد في كل جهاز ثيودليت طريقة معينة لكي يتم بدء قياس الزوايا من نقطة محددة علي تدريج الدائرة الأفقية. مثلا إذا أردنا أن نقيس زاوية بحيث نبدأ القياس (التوجيه علي النقطة الأولي) عند صفر الدائرة الأفقية بالضبط ، أو عند قيمة زاوية تساوي ٩٠ درجة بالضبط. تختلف طريقة الحصول علي زاوية أفقية معينة من جهاز ثيودليت لآخر فبعض الأجهزة خاصة القديمة منها يوجد بها مسمار معين يسمي تثبيت الدائرة الأفقية بينما الأجهزة الحديثة يوجد بها زر يسمي زر الصفر. في حالة مسمار تثبيت الدائرة (للأجهزة القديمة) فيقوم الراصد بتحريك الثيودليت أفقيا حتى يحصل علي القراءة صفر في تدريج الدائرة الأفقية ثم يحرك هذا المسمار لوضع معين وبذلك يكون قد قام بتثبيت الدائرة الأفقية (أي أن قراءتها لن تتغير مهما تحرك الثيودليت نفسه). ثم يقوم الراصد بالتوجيه علي الهدف الأول (الضلع الأول أ ب من الزاوية المطلوب قياسها) وبعد ذلك يعيد المسمار لوضعه الأصلي (أي يكون قد حرر الدائرة الأفقية من وضعها الثابت إلي وضعها العادي). ثم يقوم الراصد بالتوجيه علي الهدف الثاني (الضلع الثاني أ ج للزاوية المطلوبة) وقراءة الدائرة الأفقية وبذلك يحصل مباشرة علي قيمة هذه الزاوية المرصودة. أما في أجهزة الثيودليت الحديثة فيوجد زر يقوم مباشرة – عند الضغط عليه – بجعل قراءة الدائرة الأفقية تساوي الصفر.

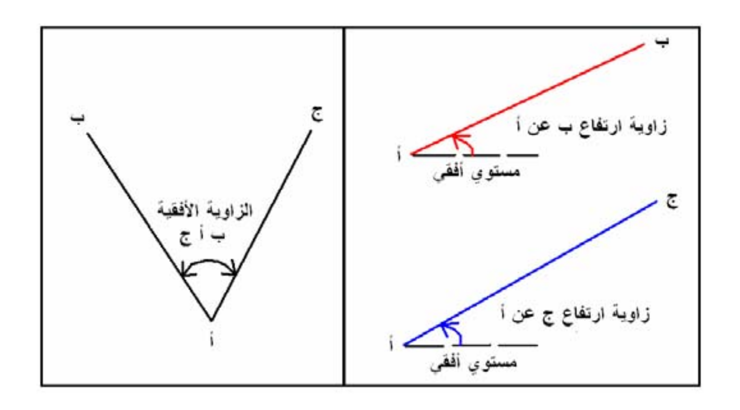
تختلف أجهزة الثيودليت في وضع أو تدريج الدائرة الرأسية ، فبعض الأجهزة يكون الوضع الأفقي لها عند زاوية رأسية تساوي صفر درجة بينما توجد أجهزة أخري يكون الأفق لها عند زاوية رأسية تساوي ٩٠ درجة. في الحالة الأولي فأن الزاوية الرأسية المرصودة تسمي زاوية الارتفاع Elevation Angle بينما في الحالة الثانية فأن الزاوية الرأسية المرصودة زاوية السمت Zenith Angle. يجب معرفة نوع الزاوية الرأسية لجهاز الثيودليت المستخدم لأن حسابات الارتفاع بين النقاط المرصودة ستعتمد علي نوع هذه الزاوية. العلاقة بين كلا نوعي الزاوية الرأسية هي:

زاوية الارتفاع + زاوية السمت = ٩٠° (٥-١)



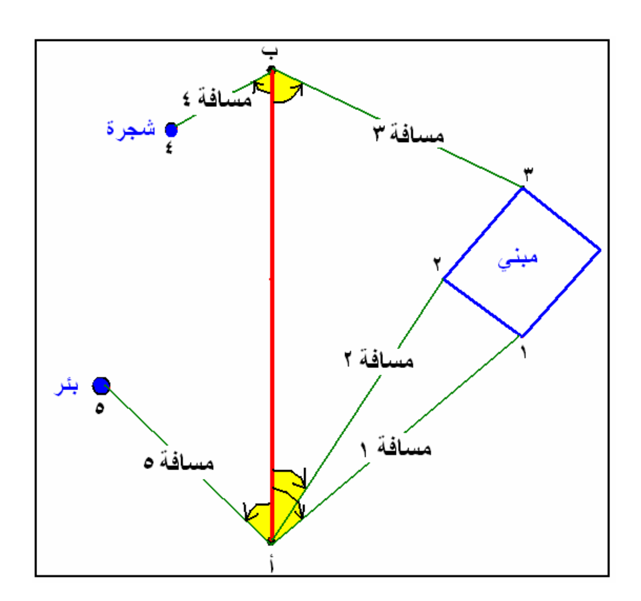
شكل (٥-١٠) زاوية الارتفاع و زاوية السمت

يجب ملاحظة أن كل نقطة مرصودة سيكون لها زاوية رأسية بينما توجد زاوية أفقية واحدة بين كل نقطتين:



شكل (٥-١١) زوايا الثيودليت الأفقية والرأسية

تتكون قياسات المضلع الرئيسي من قياس الزوايا الأفقية (الداخلية) والرأسية للمضلع مع قياس كل أطوال أضلاع المضلع سواء باستخدام الشريط أو باستخدام جهاز قياس المسافات الكترونيا EDM في حالة توافره. بالمثل فأن الرفع المساحي بالثيودليت (التحشية) يشمل قياس الزاوية الأفقية والرأسية لكل معلم بالإضافة لقياس بعد المعلم عن احدي نقاط المضلع الرئيسي.



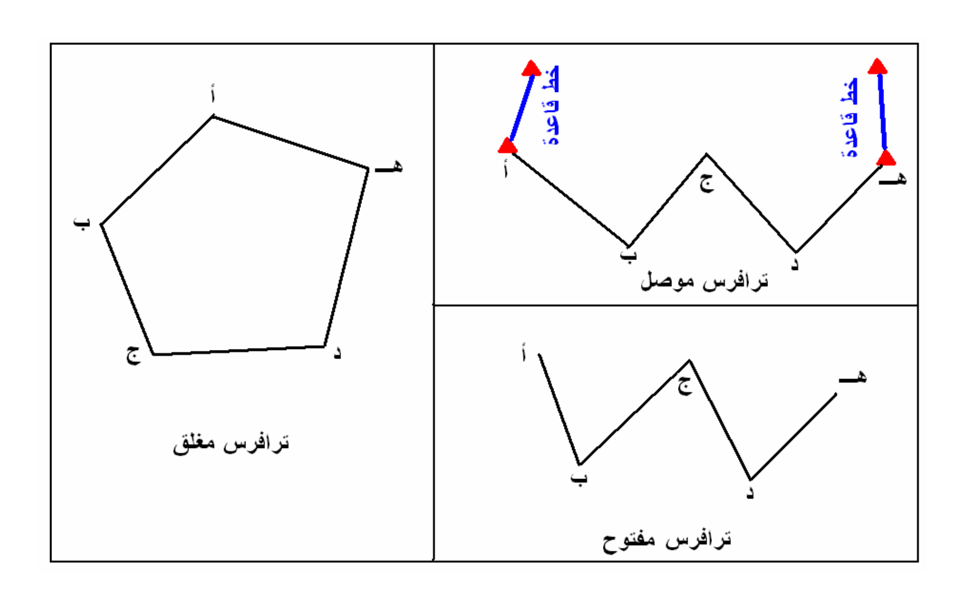
شكل (٥-١٢) الرفع المساحي بالثيودليت

٥-٥ حسابات ترافرس الثيودليت:

كلمة "ترافرس Traverse " هي كلمة لاتينية يعود أصلها للقرن الرابع عشر الميلادي وتعني "المرور بـ" ، وهي كمصطلح مستخدم في قياسات علم المساحة منذ مئات السنين ليعني المضلع (الشكل متعدد النقاط).

توجد ٣ أنواع من الترافرسات:

١. الترافرس المغلق Closed or Polygonal Traverse : مضلع معلق تكون نقطة البداية له هي نقطة نهايته.
٢. الترافرس الموصل Link Traverse : يصل بين خطين معلومين (يسميا خطي قاعدة).
٣. الترافرس المفتوح Open or free Traverse : مضلع لا هو مغلق ولا هو موصل.



شكل (٥-١٣) أنواع الترافرس

يعد الترافرس المغلق هو أدق أنواع الترافرسات وهو أساس العمل المساحي الذي يتطلب دقة عالية. يرجع السبب في ذلك أن الترافرس المغلق له إمكانيات حسابية لاكتشاف أخطاء الرصد وتوزيعها (إن كانت في حدود القيم المسموح بها) أو رفض القياسات وإعادة قياسهم مرة أخري في الطبيعة ، مما يؤدي في النهاية إلي الحصول علي إحداثيات (مواقع) دقيقة للمعالم المطلوب رفعها و تمثيلها علي الخريطة. أما الترافرس الموصل ومع أنه أقل دقة من الترافرس المغلق إلا أنه قد يكون مناسبا للمشروعات الهندسية التي تمتد طوليا (مثل خطوط المياه و الكهرباء و الطرق ...الخ). بينما يعد الترافرس المفتوح أقل أنواع الترافرسات من حيث الدقة و يجب تجنبه بقدر الإمكان في الأعمال المساحية.

٥-٥-١ الترافرس المغلق:

في الترافرس المغلق يتم رصد الزوايا الداخلية للترافرس بالإضافة لقياس أطوال أضلاعه. أيه قياسات في الطبيعة لن تكون خالية من الأخطاء سواء أخطاء الراصد نفسه أو أخطاء الجهاز أو تأثير العوامل الطبيعية علي مرحلة الرصد الحقلي. لذلك لا بد من حساب قيم الخطأ سواء في الزوايا أو الأضلاع المرصودة ، وبما أن الترافرس مغلق فتوجد شروط (أو معادلات) هندسية تمكننا من حساب قيم هذين النوعين من الأخطاء.

يتم حساب مجموع الزوايا الداخلية المرصودة للترافرس المغلق لكي يتم حساب قيمة الخطأ الزاوي للترافرس المغلق:

ز = مج – (ن-٢)×١٨٠° (٥-٢)

حيث:

ز قيمة الخطأ الزاوي للترافرس
مج مجموع الزوايا الداخلية
ن عدد نقاط الترافرس

نقارن قيمة الخطأ الزاوي بالقيمة المسموح بها والتي تعتمد علي دقة الثيودليت المستخدم في رصد الترافرس. فان كان الخطأ الزاوي أكبر من القيمة المسموح بها فلا بد من إعادة رصد زوايا الترافرس مرة أخري أو علي الأقل إعادة رصد الزوايا المشكوك بها.

مسموح = ٢ و" √ ن (٥-٣)

حيث:

مسموح قيمة الخطأ المسموح به بالثواني
و" دقة الثيودليت المستخدم بالثواني

تجدر الإشارة لوجود صيغة أخري للمعادلة (٥-٣) تكتب أحيانا كالتالي:

مسموح = ٧٠" √ ن

هذه الصيغة تعد قديمة وكانت مستخدمة في السابق مع أجهزة الثيودليت منخفضة الدقة ، ومع توافر أجهزة ثيودليت حديثة دقيقة فأن المعادلة (٥-٣) هي الأنسب في حساب الحدود المسموح بها لأخطاء الزوايا المرصودة بالثيودليت.

إن كان الخطأ الزاوي للترافرس (يسمي أيضا خطأ القفل الزاوي) أقل من القيمة المسموح بها فيتم توزيع هذا الخطأ علي جميع الزوايا الداخلية بالتساوي وبعكس الإشارة:

ت = - ز / ن (٥-٤)

حيث:

ت التصحيح لكل زاوية من زوايا الترافرس.

ثم نحسب قيمة كل زاوية مصححة من زوايا الترافرس بإضافة قيمة التصحيح إلي قيمة الزاوية المرصودة أساسا.

عند تنفيذ الترافرس في الطبيعة يتم تحديد الانحراف لأحد خطوطه وذلك إما: (١) باستخدام البوصلة المغناطيسية ، أو (٢) بربط الترافرس علي أحد الخطوط المعلوم انحرافها.

بعد تصحيح الزوايا الداخلية للترافرس يتم حساب انحراف كل ضلع من أضلاعه (اعتمادا علي الضلع المعلوم الانحراف) باستخدام الزوايا المرصودة بعد تصحيحها:

انحراف الخط اللاحق = انحراف الخط السابق ± ١٨٠° + الزاوية المصححة بينهما (٥-٥)

يضاف ١٨٠° في حالة أن انحراف السابق أقل من ١٨٠° بينما نطرح ١٨٠° في حالة أن الانحراف السابق يكون أكبر من ١٨٠°.

كما يمكن كتابة المعادلة السابقة بصورة أخري:

انحراف الخط اللاحق = انحراف الخط السابق +١٨٠° + الزاوية المصححة بينهما (٥-٥ب)

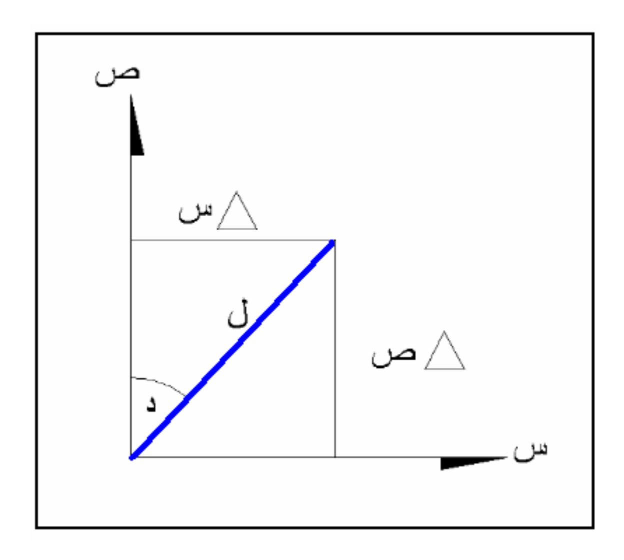
فإذا زاد الانحراف المحسوب عن ٣٦٠° فنطرح منه ٣٦٠°.

تتكون المرحلة الثالثة من حسابات الترافرس المغلق من حساب مركبات الخطوط:

Δ س = ل جا د (٥-٦)

Δ ص = ل جتا د (٥-٧)

حيث:
Δ س المركبة الأفقية للضلع
Δ ص المركبة الرأسية للضلع
ل طول الضلع
د انحراف الضلع



شكل (٥-١٤) مركبات الخط

ثم نحسب قيمة مركبات الخطأ الضلعي للترافرس:

Δ س$_{ت}$ = مجموع Δ س (٥-٨)

Δ ص$_{ت}$ = مجموع Δ ص (٥-٩)

حيث:
Δ س$_{ت}$ المركبة الأفقية للخطأ الطولي للترافرس
Δ ص$_{ت}$ المركبة الرأسية للخطأ الطولي للترافرس

يمكن حساب طول الخطأ الطولي للترافرس (يسمي أيضا خطأ القفل الضلعي) من خلال مركبتيه الأفقية والرأسية:

Δ ل = $\sqrt{}$ (Δ س$_{ت}^{٢}$ + Δ س$_{ت}^{٢}$) (٥-١٠)

حيث:

Δ ل خطأ القفل الضلعي للترافرس المغلق.

يتم بعد ذلك تحويل خطأ القفل الضلعي إلي خطأ نسبي:

Δ ل$_{٢}$ = Δ ل / مجموع أطوال أضلاع الترافرس (٥-١١)

حيث:
Δ ل$_{٢}$ نسبة خطأ القفل الضلعي.

غالبا تعتمد قيمة الخطأ الضلعي المسموح به علي طبيعة المشروع ذاته ومدي الدقة المطلوبة به، ومن هنا نقرر إن كان الخطأ الضلعي للترافرس مسموحا به أم لا. كمثال فأن هيئة المساحة المصرية تحدد قيمة ١ / ٢٠٠٠ كخطأ قفل ضلعي نسبي مسموحا به في أعمال الترافرسات داخل المدن. أي إن كانت قيمة خطأ القفل الضلعي للترافرس المرصود (Δ ل٢) أقل من ٢٠٠٠/١ فنعتبره مسموحا به ، وان كان الخطأ اكبر من هذه القيمة فيتم إعادة رصد أو قياس أطوال أضلاع الترافرس مرة أخري.

توجد طريقتين لتوزيع خطأ القفل الضلعي (إن كان أقل من القيمة المسموح بها) للترافرس المغلق وهما: (أ) طريقة بودتش التي تعتمد علي توزيع الخطأ علي كل ضلع من أضلاع الترافرس بنسبة طول هذا الضلع إلي مجموع أطوال أضلاع الترافرس ، (ب) طريقة المركبات والتي تعتمد علي توزيع الخطأ علي كل ضلع من أضلاع الترافرس بنسبة طول مركبات هذا الضلع إلي مجموع أطوال مركبات أضلاع الترافرس. طريقة بودتش مناسبة أكثر لترافرس البوصلة بينما الطريقة الثانية (المركبات) هي الأنسب لترافرس الثيودليت.

<u>(أ) توزيع الخطأ الضلعي بطريقة بودتش:</u>

تصحيح المركبة الأفقية لخط = - Δ ست× طول الضلع/مجموع أطوال الأضلاع (٥-١٢)

تصحيح المركبة الرأسية لخط = - Δ صت× طول الضلع/مجموع أطوال الأضلاع (٥-١٣)

<u>(ب) توزيع الخطأ الضلعي بطريقة المركبات (تسمي أيضا طريقة الثيودليت):</u>

تصحيح المركبة الأفقية لخط = - Δ س ت × Δ س /
المجموع المطلق Δ س للأضلاع (٥-١٤)

تصحيح المركبة الرأسية لخط = - Δ ص ت × Δ ص /
المجموع المطلق Δ ص للأضلاع (٥-١٥)

لكن في المعادلتين السابقتين فأن مجموع Δ س و مجموع Δ ص للأضلاع يساوي <u>المجموع المطلق</u> absolute sum وليس المجموع الجبري ، بمعني مجموع المركبات دون اعتبار إشاراتها.

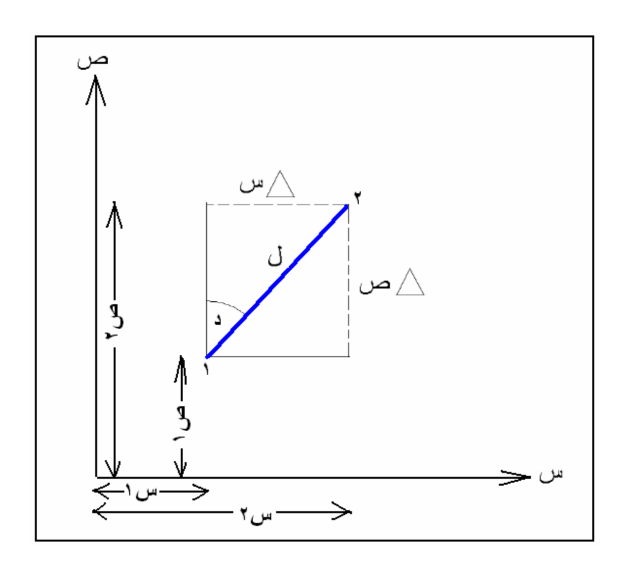
في الخطوة الأخيرة من حسابات ترافرس الثيودليت يتم حساب الإحداثيات المصححة (النهائية) لكل نقطة من نقاط الترافرس باستخدام كلا من الزوايا المصححة و أطوال الأضلاع المصححة. هنا يلزمنا معرفة إحداثيات احدي نقاط الترافرس ولربط المشروع (الترافرس) علي إحداثيات مساحية حقيقية للخرائط الوطنية يلزمنا ربط الترافرس علي احدي نقاط الثوابت الأرضية (معلومة الإحداثيات) للشبكة الوطنية. أما إن لم تتوفر نقطة ثوابت أرضية حقيقية بالقرب من منطقة العمل فيتم فرض إحداثيات احدي نقاط الترافرس وهو ما نسميه الصفر المخصوص.

س٢ = س١ + Δ س (٥-١٦)

ص٢ = ص١ + Δ ص (٥-١٧)

حيث:

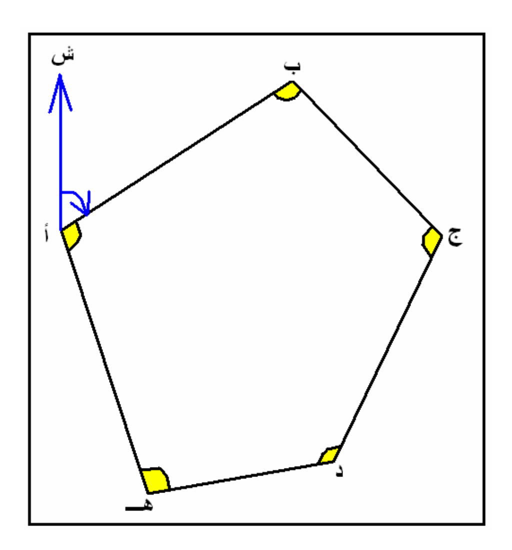
س١ ، ص١	إحداثيات النقطة الأولي للخط
س٢ ، ص٢	إحداثيات النقطة الثانية للخط
∆س ، ∆ص	المركبات المصححة للخط



شكل (٥-١٥) إحداثيات نقطتي الضلع

<u>مثال:</u>

الشكل التالي يمثل ترافرس مغلق تم قياس زواياه الداخلية وأطوال أضلاعه بالإضافة لرصد انحراف الضلع الأول (أ ب) ، والجدول التالي يشمل قيم الأرصاد.



شكل (٥-١٦) مثال لترافرس مغلق

النقطة	الضلع	الطول المقاس (متر)	الزاوية المرصودة
أ			٢٠" ٤٤' °٠٧٧
	أ ب	١٠٢.٦٩	
ب			٠٠" ٢٢' °١٣٠
	ب ج	٩٧.٩٤	
ج			٢٠" ٤٨' °٠٨١
	ج د	٨٣.٥٥	
د			٢٠" ١٩' °١٣٧
	د هـ	٧٣.٧٤	
هـ			٤٠" ٤٤' °١١٢
	هـ أ	١٠٨.٣٣	
أ			

مجموع أطوال أضلاع الترافرس = ٤٦٦.٢٥ متر

مجموع الزوايا الداخلية للترافرس = ٤٠" ٥٨' °٥٣٩

ن = عدد نقاط الترافرس = ٥

الخطأ الزاوي للترافرس المغلق (معادلة ٥-٢):

ز = مج – (ن-٢)×°١٨٠

= ٤٠" ٥٨' °٥٣٩ – ((٥-٢) × °١٨٠)

= ٤٠" ٥٨' °٥٣٩ – (٣ × °١٨٠)

= ٤٠" ٥٨' °٥٣٩ – °٥٤٠

= - ٢٠" ١'

فإذا علمنا أن هذا الترافرس تم رصده باستخدام ثيودليت دقته ٢٠" فأن الخطأ الزاوي المسموح به (معادلة ٥-٣):

مسموح = ٢ و" √ ن

= ٢ × ٢٠" √ ٥

= ٨٩.٤٤"

= ٢٩.٤٤" ١'

أي أن خطأ القفل الزاوي لهذا الترافرس أقل من القيمة المسموح بها ، إذن التصحيح لكل زاوية مرصودة (معادلة ٥-٤):

ت = - ز / ن
= - (- ٢٠" ١') / ٥
= - (- ٨٠") / ٥
= + ١٦"

نحسب قيمة كل زاوية مصححة من زوايا الترافرس بإضافة قيمة التصحيح إلي قيمة الزاوية المرصودة أساسا.

الزاوية الداخلية المصححة عند النقطة أ =٢٠" ٤٤' ٠٧٧° + ١٦" = ٣٦" ٤٤' ٠٧٧°

الزاوية الداخلية المصححة عند النقطة ب = ٠٠" ٢٢' ١٣٠° + ١٦" = ١٦" ٢٢' ١٣٠°

الزاوية الداخلية المصححة عند النقطة ج = ٢٠" ٤٨' ٠٨١° + ١٦" = ٣٦" ٤٨' ٠٨١°

الزاوية الداخلية المصححة عند النقطة د = ٢٠" ١٩' ١٣٧° + ١٦" = ٣٦" ١٩' ١٣٧°

الزاوية الداخلية المصححة عند النقطة هـ = ٤٠" ٤٤' ١١٢° + ١٦" = ٥٦" ٤٤' ١١٢°

<u>تحقيق:</u>
مجموع الزوايا المصححة = ٠٠" ٠٠' ٥٤٠°

معلوم في هذا الترافرس أن انحراف الخط أ ب = ٣٦" ١٣' ٠٧٠°

الآن يتم حساب انحراف كل ضلع من أضلاعه (اعتمادا علي الضلع المعلوم الانحراف) باستخدام الزوايا المرصودة بعد تصحيحها (المعادلة ٥-٥):

انحراف ب ج = انحراف أ ب + ١٨٠° - الزاوية المصححة عند ب
= ٣٦" ١٣' ٠٧٠° + ١٨٠° - ١٦" ٢٢' ١٣٠° = ٢٠" ٥١' ١١٩°

انحراف ج د = انحراف ب ج + ١٨٠° - الزاوية المصححة عند ج
= ٢٠" ٥١' ١١٩° + ١٨٠° - ٣٦" ٤٨' ٨١° = ٤٤" ٠٢' ٢١٨°

انحراف د هـ = انحراف ج د - ١٨٠° - الزاوية المصححة عند د
= ٤٤" ٠٢' ٢١٨° - ١٨٠° - ٣٦" ١٩' ١٣٧°
= - ٥٢" ١٦' ٩٩° = ٠٨" ٤٣' ٢٦٠°

انحراف هـ أ = انحراف د هـ - ١٨٠° - الزاوية المصححة عند هـ
= ٠٨" ٤٣' ٢٦٠° - ١٨٠° - ٥٦" ٤٤' ١١٢°
= - ٤٨" ٠١' ٣٢° = ١٢" ٥٨' ٣٢٧°

<u>تحقيق:</u>

انحراف أ ب = انحراف هـ أ - ١٨٠° - الزاوية المصححة عند أ
= ١٢" ٥٨' ٣٢٧° - ١٨٠° - ٣٦" ٤٤' ٧٧°
= ٣٦" ١٣' ٠٧٠° = الانحراف المعلوم.

تتكون المرحلة الثالثة من حسابات الترافرس المغلق من حساب مركبات الخطوط (المعادلة ٥-٦ و ٥-٧) كما في الجدول التالي:

الضلع	الطول (ل)	الانحراف (ز)	Δس= ل جا ز	Δص= ل جتا ز
أ ب	١٠٢.٦٩	٣٦" ١٣' ٠٧٠°	٩٦.٦٣٥	٣٤.٧٤٠
ب ج	٩٧.٩٤	٢٠" ٥١' ١١٩°	٨٤.٩٤٢	- ٤٨.٧٥٦
ج د	٨٣.٥٥	٤٤" ٠٢' ٢١٨°	- ٥١.٤٩١	- ٦٥.٧٩٧
د هـ	٧٣.٧٤	٠٨" ٤٣' ٢٦٠°	- ٧٢.٧٧٥	- ١١.٨٩٣
هـ أ	١٠٨.٣٣	١٢" ٥٨' ٣٢٧°	- ٥٧.٤٥٤	٩١.٨٣٩

ثم نحسب قيمة مركبات الخطأ الضلعي للترافرس (المعادلة ٥-٦ و ٥-٧):

Δ سـت = مجموع Δ س = - ٠.١٤٣ متر

Δ صـت = مجموع Δ ص = + ٠.١٣٣ متر

نحسب خطأ القفل الضلعي(المعادلة ٥-٨):

Δ ل = √ (Δ سـت٢ + Δ سـت٢) = √ ((-٠.١٤٣) ٢ + (+٠.١٣٣) ٢) = ٠.١٩٥ متر

يتم بعد ذلك تحويل خطأ القفل الضلعي إلي خطأ نسبي (المعادلة ٥-٩):

Δ لر = Δ ل / مجموع أطوال أضلاع الترافرس = ٠.١٩٥ / ٤٦٦.٢٥
= ١ / ٢٣٨٧.٤٨

وحيث أن قيمة خطأ القفل الضلعي للترافرس المرصود (٢٣٨٧/١) أقل من ٢٠٠٠/١ فنعتبره مسموحا به.ثم نستخدم طريقة المركبات لتوزيع خطأ القفل الضلعي (المعادلة ٥-١٢ و ٥-١٣) كما في الجدول التالي:

تصحيح Δس لأي ضلع = ٠.١٤٣ × Δس الضلع / المجموع المطلق Δس لجميع الأضلاع
تصحيح Δص لأي ضلع = - ٠.١٣٣ × Δص الضلع / المجموع المطلق Δص لجميع الأضلاع

الضلع	∆س	∆ص	تصحيح ∆س	تصحيح∆ص
أ ب	٩٦.٦٣٥	٣٤.٧٤٠	٠.٠٣٨٠	- ٠.٠١٨٣
ب ج	٨٤.٩٤٢	- ٤٨.٧٥٦	٠.٠٣٣٤	- ٠.٠٢٥٦
ج د	- ٥١.٤٩١	- ٦٥.٧٩٧	٠.٠٢٠٣	- ٠.٠٣٤٦
د هـ	- ٧٢.٧٧٥	١١.٨٩٣	٠.٠٢٨٦	- ٠.٠٠٦٣
هـ أ	- ٥٧.٤٥٤	٩١.٨٣٩	٠.٠٢٢٦	- ٠.٠٤٨٣
المجموع الجبري	- ٠.١٤٣	+ ٠.١٣٢	+ ٠.١٤٣	- ٠.١٣٢
			تحقيق	
المجموع المطلق	٣٦٣.٢٩٧	٢٥٣.٠٢٥		

الضلع	∆س المصححة	∆ص المصححة
أ ب	٩٦.٦٧٣	٣٤.٧٢٢
ب ج	٨٤.٩٧٥	- ٤٨.٧٨٢
ج د	- ٥١.٤٧١	- ٦٥.٨٣٢
د هـ	- ٧٢.٧٤٦	- ١١.٨٩٩
هـ أ	- ٥٧.٤٣١	٩١.٧٩١

في الخطوة الأخيرة من حسابات ترافرس الثيودليت يتم حساب الإحداثيات المصححة (النهائية) لكل نقطة من نقاط الترافرس باستخدام المركبات المصححة (معادلة ٥-١٤ و ٥-١٥). فإذا علمنا أن الإحداثيات الحقيقية للنقطة أ هي ٦٣٤٨.١٥٢ ، ١٤٨٤٧.٧٤٤ متر فأن الإحداثيات النهائية لنقاط الترافرس ستكون كالآتي:

النقطة	الضلع	∆ س المصححة	∆ ص المصححة	س	ص
أ				٦٣٤٨.١٥٢	١٤٨٤٧.٧٤٤
	أ ب	٩٦.٦٧٣	٣٤.٧٢٢		
ب				٦٤٤٤.٨٢٥	١٤٨٨٢.٤٦٦
	ب ج	٨٤.٩٧٥	- ٤٨.٧٨٢		
ج				٦٥٢٩.٨٠٠	١٤٨٣٣.٦٨٤
	ج د	- ٥١.٤٧١	- ٦٥.٨٣٢		
د				٦٤٧٨.٣٢٩	١٤٧٦٧.٨٥٢
	د هـ	- ٧٢.٧٤٦	- ١١.٨٩٩		
هـ				٦٤٠٥.٥٨٣	١٤٧٥٥.٩٥٣
	هـ أ	- ٥٧.٤٣١	٩١.٧٩١		
أ	تحقيق			٦٣٤٨.١٥٢	١٤٨٤٧.٧٤٤

٥-٥-٢ الأرصاد الناقصة فى الترافرس المغلق:

في تطبيقات الهندسة المدنية يجب رصد جميع زوايا و أضلاع الترافرس المغلق. لكن في الحالات القصوى (وخاصة تطبيقات المساحة في المناجم والأنفاق) ربما يواجه الراصد صعوبة رصد ضلع معين من أضلاع ترافرس مغلق. في مثل هذه الحالات نستفيد من الخواص الهندسية والحسابية للترافرس المغلق لحساب الأرصاد الناقصة والتي يجب ألا تزيد عن اثنين. لكن تجدر الإشارة إلي أن حساب هذه الأرصاد الناقصة يكون علي حساب عدم اكتشاف أية أخطاء في الترافرس ، وفي هذه الحالة يجب التأكد من أن كل القياسات قد تمت بدقة عالية مع تكرار رصد كلا منها أكثر من مرة للتأكد من دقتها قبل استخدامها في حساب الأرصاد الناقصة.

ومن أمثلة الأرصاد الناقصة في الترافرس المغلق حالة رصد أضلاع وزوايا أضلاع ترافرس مغلق إلا ضلع واحد ناقص (لوجود عائق في مساره يمنع الرصد) يمكن حساب طول هذا الضلع و انحرافه كالآتي:

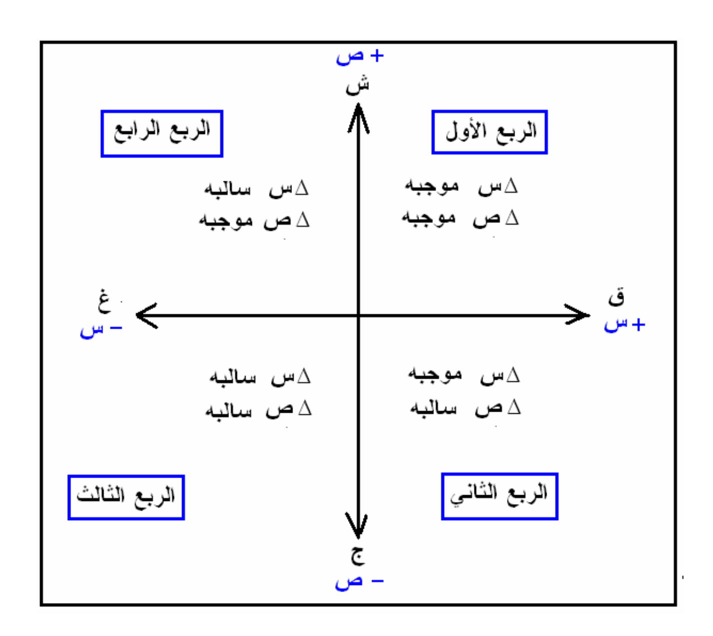
Δ س الضلع الناقص = - مجموع Δ س لباقي أضلاع الترافرس (٥-١٨)

Δ ص الضلع الناقص = - مجموع Δ ص لباقي أضلاع الترافرس (٥-١٩)

طول الضلع الناقص = √ (مربع Δ س الضلع الناقص + مربع Δ س الضلع الناقص) (٥-٢٠)

انحراف الضلع الناقص = ظ$^{-1}$ (Δ س الضلع الناقص / Δ ص الضلع الناقص) (٥-٢١)

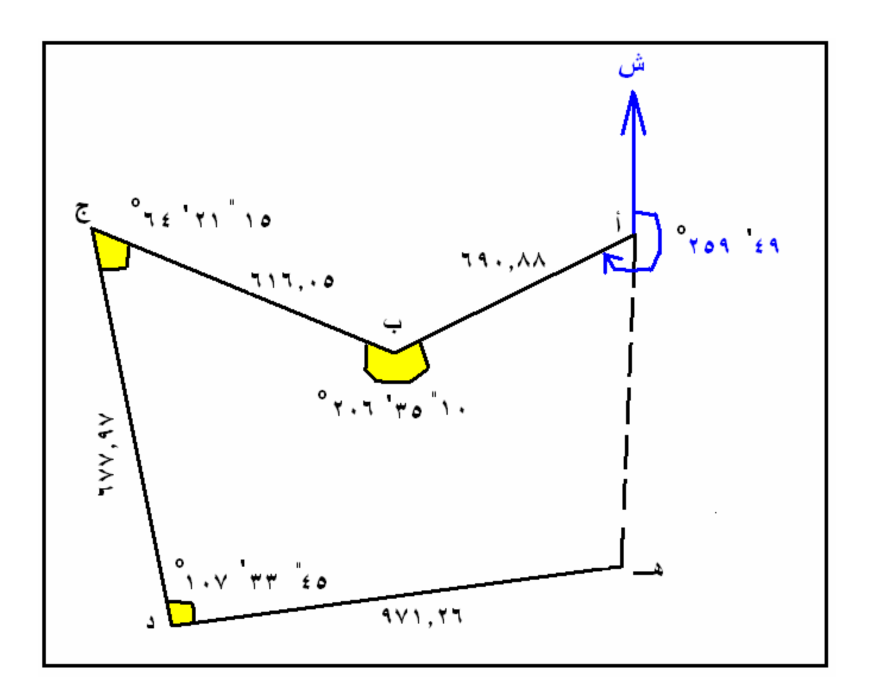
يجب مراعاة أن استخدام الآلة الحاسبة في المعادلة السابقة سينتج عنه قيمة الانحراف المختصر للضلع الناقص ، ومن خلال معرفة إشارة كل من Δ س ، Δ ص لهذا الضلع يمكن تحديد الربع الواقع به ومن ثم تحويل الانحراف المختصر إلي الانحراف الدائري لهذا الضلع الناقص.



شكل (٥-١٧) إشارات مركبات الأضلاع في كل ربع

<u>مثال:</u>

في الشكل التالي لم يمكن رصد طول الضلع أ هـ أو الزاويتين الداخليتين عند كلا من نقطة أ و نقطة هـ.



شكل (٥-١٨) مثال للأرصاد الناقصة في الترافرس المغلق

من خلال الانحراف المعلوم للضلع أ ب والزوايا الداخلية المرصودة يمكن حساب انحرافات باقي الأضلاع كالتالي:

انحراف أ ب = ٠٠" ٤٩' ٢٥٩°

انحراف ب ج = ٠٠" ٤٩' ٢٥٩° – ١٨٠° + ١٠" ٣٥' ٢٠٦° = ١٠" ٢٤' ٢٨٦°

انحراف ج د = ١٠" ٢٤' ٢٨٦° – ١٨٠° + ١٥" ٢١' ٦٤° = ٢٥" ٤٥' ١٧٠°

انحراف د هـ = ٢٥" ٤٥' ١٧٠° – ١٨٠° + ٤٥" ٣٣' ١٠٧° = ١٠" ١٩' ٩٨°

نحسب مركبات أضلاع الترافرس:

الضلع	الطول (ل)	الانحراف (ز)	Δس= ل جا د	Δص= ل جتا د
أ ب	٦٩٠.٨٨	٢٥٩° ٤٩' ٠٠"	- ٦٧٩.٩٩٧	- ١٢٢.١٤٧
ب ج	٦١٦.٠٥	٢٨٦° ٢٤' ١٠"	- ٥٩٠.٩٧٧	+ ١٧٣.٩٦٥
ج د	٦٧٧.٩٧	١٧٠° ٤٥' ٢٥"	+ ١٠٨.٨٩٨	- ٦٦٩.١٦٧
د هـ	٩٧١.٢٦	٩٨° ١٩' ١٠"	+ ٩٦١.٠٣٩	- ١٤٠.٥٣٤
هـ أ	؟	؟	؟	؟
		المجموع الجبري	- ٢٠١.٠٣٧	- ٧٥٧.٨٨٣

من المعادلة (٥-١٨):

Δ س الضلع الناقص هـ أ = - مجموع Δ س لباقي أضلاع الترافرس

= - (-٢٠١.٠٣٧) = + ٢٠١.٠٣٧ متر

من المعادلة (٥-١٩):

Δ ص الضلع الناقص هـ أ = - مجموع Δ ص لباقي أضلاع الترافرس

= - (-٧٥٧.٨٨٣) = + ٧٥٧.٨٨٣ متر

من المعادلة (٥-٢٠):

طول الضلع الناقص هـ أ = √ (مربع Δ س الضلع الناقص + مربع Δ س الضلع الناقص)

= √ (٢٠١.٠٣٧ ^{٢} + ٧٥٧.٨٨٣ ^{٢})

= ٧٨٤.٠٩٣ متر

من المعادلة (٥-٢١):

الانحراف المختصر للضلع الناقص = ظ $^{-١}$ (Δ س الضلع الناقص / Δ ص الضلع الناقص)

= ظ $^{-١}$ (+ ٢٠١.٠٣٧ / + ٧٥٧.٨٨٣)

= ش ١٤° ٥١' ٢٥.٧٤" ق

وحيث أن إشارة Δ س موجبة وإشارة Δ ص موجبة أيضا فأن هذا الانحراف المختصر يقع في الربع الأول. وفي هذا الربع فأن الانحراف الدائري يساوي الانحراف المختصر (معادلة ٢-٣٩).

الانحراف الدائري للضلع هـ أ = ١٤° ٥١' ٢٥.٧٤"

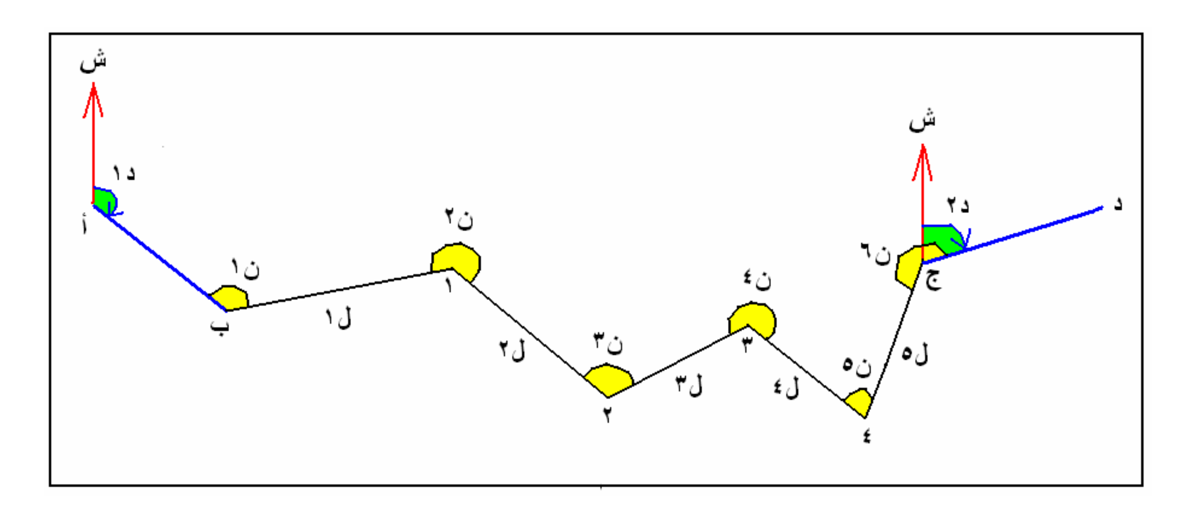
الانحراف الدائري للضلع أ هـ = الانحراف الخلفي للضلع هـ أ

= الانحراف الأمامي للضلع هـ أ + ١٨٠°

= ١٤° ٥١' ٢٥.٧٤" + ١٨٠° = ١٩٤° ٥١' ٢٥.٧٤"

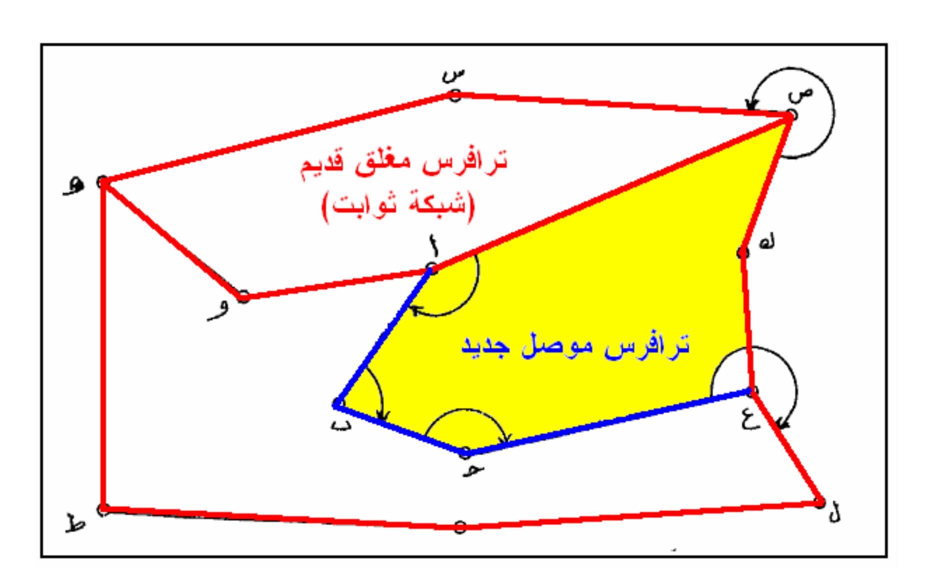
٥-٥-٣ الترافرس الموصل:

جاء أسم الترافرس الموصل من حقيقية أنـه يصل بـين نقطتين معلومتين الإحداثيات (أ و ج فـي شكل ٥-١٨) كما أنه يصل بين خطين معلومين الانحراف(أ ب ، ج د). يتكون العمل الميداني في الترافرس الموصل من رصد الزاوية بين خط الربط الأول وأول أضلاع الترافرس ثم رصد الزوايا بين أضلاع الترافرس وكذلك الزاويـة بين آخر أضلاع الترافرس وخط الربط الثاني ، بالإضافة لقياس أطوال الأضلاع سواء بالشريط أو بجهاز قياس مسافات الكترونيا.



شكل (٥-١٩) الترافرس الموصل

أحيانا نحتاج لعمل ترافرس موصل لإنشاء نقاط ثوابت أرضية جديدة (تكثيف شبكة الثوابت) في منطقة العمل التي يتوافر بها شبكة ثوابت قديمة (ترافرس مغلق علي سبيل المثال).



شكل (٥-٢٠) أحد تطبيقات الترافرس الموصل

في الترافرس الموصل يكون عدد الزوايا أكثر بواحد من عدد النقاط ، فإذا كان عدد أضلاع الترافرس الموصل = ن فأن عدد الزوايا المقاسة سيكون = ن +١. تتكون خطوات العمل

المساحي في حالة الترافرس الموصل من نفس خطوات تنفيذ الترافرس المغلق (الاستكشاف ورسم الكروكي واختيار وتثبيت نقاط الترافرس .... الخ) لكنها تختلف في الحسابات.

يتم حساب خطأ القفل الزاوي في الترافرس الموصل كالآتي:

ز = مج – (د١ – د٢ + (ن+١)×١٨٠°) (٥-٢٢)

حيث:

ز	قيمة الخطأ الزاوي للترافرس
مج	مجموع الزوايا المقاسة بين أضلاع الترافرس والمأخوذة دائما عكس اتجاه دوران عقرب الساعة من الضلع السابق إلي الضلع اللاحق ابتداء من خط الربط الأول.
ن	عدد نقاط الترافرس
د١	انحراف خط الربط الأول
د٢	انحراف خط الربط الأخير

أما في حالة أن زوايا الترافرس الموصل قد تم رصدها مع اتجاه دوران عقرب الساعة فأن معادلة حساب خطأ القفل الزاوي تصبح:

ز = مج – (د٢ – د١ + (ن+١)×١٨٠°) (٥-٢٣)

يمكن أيضا حساب خطأ القفل الزاوي للترافرس الموصل بطريقة أخري تعتمد علي استخدام الزوايا المرصودة لحساب انحرافات خطوط الترافرس وصولا إلي حساب انحراف خط الربط الأخير ، ثم نقارن الانحراف المحسوب لهذا الخط مع انحرافه المعلوم أصلا:

ز = الانحراف المحسوب لخط الربط الأخير – الانحراف المعلوم لخط الربط الأخير

نقارن قيمة الخطأ الزاوي بالقيمة المسموح بها والتي تعتمد علي دقة الثيودليت المستخدم في رصد الترافرس. فان كان الخطأ الزاوي أكبر من القيمة المسموح بها فلا بد من إعادة رصد زوايا الترافرس مرة أخري أو علي الأقل إعادة رصد الزوايا المشكوك بها. وقيمة المسموح به في زوايا الترافرس الموصل هو نفس قيمة الترافرس المغلق (معادلة ٥-٣) إلا أن عدد الزوايا في حالة الترافرس الموصل سيكون أكبر بواحد من عدد نقاط الترافرس:

مسموح = ٢ و" √ ن+١ (٥-٢٤)

حيث:

مسموح	قيمة الخطأ المسموح به بالثواني
و"	دقة الثيودليت المستخدم بالثواني

في الخطوة الثانية من حسابات الترافرس الموصل نقوم بحساب انحرافات خطوط الترافرس بدءا من انحراف الضلع المعلوم (خط الربط) الأول باستخدام قيم الزوايا المرصودة. ثم نقوم بتوزيع خطأ القفل الزاوي (في حالة أنه أقل من القيمة المسموح بها) علي انحرافات الخطوط كالآتي:

تصحيح انحراف الخط الأول: ت$_{١}$ = - ز / (ن + ١)　　(٥-٢٥)

تصحيح انحراف الخط الثاني: ت$_{٢}$ = - ٢ ز / (ن + ١)　　(٥-٢٦)

وهكذا إلي أن نصل إلي:

تصحيح انحراف خط الربط الأخير: ت $_{ن+١}$ = - ز (ن+١) / (ن+١) = - ز　　(٥-٢٧)

تتكون المرحلة الثالثة من حسابات الترافرس المغلق من حساب مركبات الخطوط بنفس الطريقة كما في الترافرس المغلق (معادلة ٥-٦ و ٥-٧) ثم نحسب إحداثيات نقاط الترافرس بالاعتماد علي الإحداثيات المعلومة لنقطة الربط الأولي. ثم نحسب قيمة مركبات الخطأ الضلعي للترافرس الموصل كالآتي:

Δ س$_{ت}$ = س $_{ب}$ – س $_{ج}$ + مجموع Δ س　　(٥-٢٨)

Δ ص$_{ت}$ = ص $_{ب}$ – ص $_{ج}$ + مجموع Δ ص　　(٥-٢٩)

حيث:

Δ س$_{ت}$　المركبة الأفقية للخطأ الطولي للترافرس

Δ ص$_{ت}$　المركبة الرأسية للخطأ الطولي للترافرس

س $_{ب}$　الاحداثي الشرقي لنقطة الربط الأولي (نقطة أ).

ص $_{ب}$　الاحداثي الشمالي لنقطة الربط الأولي (نقطة أ).

س $_{ج}$　الاحداثي الشرقي لنقطة الربط الأخيرة (نقطة ج).

ص $_{ج}$　الاحداثي الشمالي لنقطة الربط الأخيرة (نقطة ج).

يمكن حساب طول الخطأ الطولي للترافرس (يسمي أيضا خطأ القفل الضلعي) من خلال مركبتيه الأفقية والرأسية (المعادلة ٥-٨):

Δ ل = $\sqrt{}$ (Δ س$_{ت}^{٢}$ + Δ س$_{ت}^{٢}$)

بعد ذلك يتم تحويل خطأ القفل الضلعي إلي خطأ نسبي كما في حالة الترافرس المغلق (معادلة ٥-٩):

Δ ل$_{٢}$ = Δ ل / مجموع أطوال أضلاع الترافرس

حيث:

Δ ل$_{٢}$　نسبة خطأ القفل الضلعي.

كما سبق القول فغالبا تعتمد قيمة الخطأ الضلعي المسموح به علي طبيعة المشروع ذاته ومدي الدقة المطلوبة به ، ومن هنا نقرر إن كان الخطأ الضلعي للترافرس مسموحا به أم لا. كمثال فأن هيئة المساحة المصرية تحدد قيمة ١ / ٢٠٠٠ كخطأ قفل ضلعي نسبي مسموحا به في

أعمال الترافرسات داخل المدن. أي إن كانت قيمة خطأ القفل الضلعي للترافرس المرصود (Δ ل$_{\text{٢}}$) أقل من ١/٢٠٠٠ فنعتبره مسموحا به ، وان كان الخطأ اكبر من هذه القيمة فيتم إعادة رصد أو قياس أطوال أضلاع الترافرس مرة أخري.

نستخدم طريقة المركبات (طريقة الثيودليت) لتوزيع خطأ القفل الضلعي (إن كان أقل من القيمة المسموح بها) للترافرس الموصل كما سبق في حالة الترافرس المغلق (معادلة ٥-١٢ و ٥-١٣):

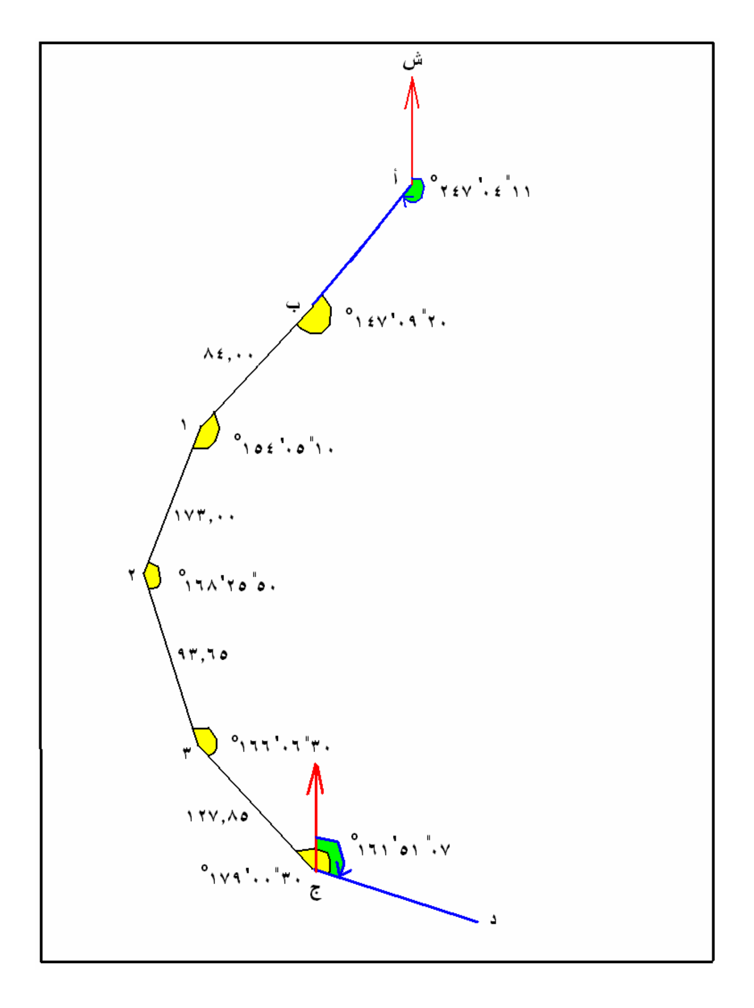
تصحيح المركبة الأفقية لخط = - Δ س$_{\text{ت}}$ × Δ س / المجموع المطلق Δ س للأضلاع

تصحيح المركبة الرأسية لخط = - Δ ص$_{\text{ت}}$ × Δ ص / المجموع المطلق Δ ص للأضلاع

باستخدام المركبات المصححة يتم حساب قيم الإحداثيات المصححة لجميع نقاط الترافرس الموصل.

<u>مثال:</u>

الشكل التالي يمثل أرصاد ترافرس موصل يبدأ من نقطة ب (١٠٧٤.١٨٢ ، ١١٢٥.٠٥٣) إلي نقطة ج (١٠٤٤.٨٤٦ ، ٦٦٨.٨٩٥) والمطلوب حساب إحداثيات نقاط هذا الترافرس.



شكل (٥-٢١) مثال لترافرس موصل

الخطأ الزاوي للترافرس (معادلة ٥-٢٠):

ز = مج – (د١ – د٢ + (ن+١)×١٨٠°)
= (٢٠" ٠٩' ١٤٧° + ١٠" ٠٥' ١٥٤° + ٥٠" ٢٥' ١٦٨° + ٣٠" ٠٦' ١٦٦° +
٣٠" ٠٠' ١٧٩°) - ٠٧" ٥١' ١٦١° - ١١" ٠٤' ٢٤٧° + ((٥+١) × ١٨٠°)
= + ٢٤"

فإذا علمنا أن هذا الترافرس تم رصده باستخدام ثيودليت دقته ١٠" فأن الخطأ الزاوي المسموح به (معادلة ٥-٣):

مسموح = ٢ و" √ ن
= ٢ × ٢٠" √ ٥ = ٤٤.٧٢ "

أي أن خطأ القفل الزاوي لهذا الترافرس أقل من القيمة المسموح بها ، إذن التصحيح لكل زاوية مرصودة (معادلة ٥-٤):

ت = - ز / ن
= - (+ ٢٤") / ٥ = - ٤.٨"

ثم نقوم بحساب انحراف كل ضلع من أضلاعه اعتمادا علي الضلع المعلوم الانحراف (مع تصحيح الزوايا المقاسة في نفس الخطوة:

انحراف ب ١ = انحراف أ ب - ١٨٠° + الزاوية المصححة عند ب
انحراف ب ١ = انحراف أ ب - ١٨٠° + (الزاوية المرصودة عند ب + التصحيح)
= ١١" ٠٤' ٢٤٧° - ١٨٠° + (٢٠" ٠٩' ١٤٧° – ٤.٨")
= ٢٦.٢" ١٣' ٢١٤°

انحراف ١ ٢ = انحراف ب ١ - ١٨٠° + الزاوية المصححة عند ١
= ٢٦.٢" ١٣' ٢١٤° - ١٨٠° + (١٠" ٠٥' ١٥٤° – ٤.٨")
= ٣١.٤" ١٨' ١٨٨°

انحراف ٢ ٣ = انحراف ١ ٢ - ١٨٠° + الزاوية المصححة عند ٢
= ٣١.٤" ١٨' ١٨٨° - ١٨٠° + (٥٠" ٢٥' ١٦٨° – ٤.٨")
= ١٦.٦" ٤٤' ١٧٦°

انحراف ٣ ج = انحراف ٢ ٣ - ١٨٠° + الزاوية المصححة عند ٣
= ١٦.٦" ٤٤' ١٧٦° - ١٨٠° + (٣٠" ٠٦' ١٦٦° – ٤.٨")
= ٤١.٨" ٥٠' ١٦٢°

<u>تحقيق:</u>
انحراف ج د = انحراف ٣ ج - ١٨٠° + الزاوية المصححة عند ج
= ٤١.٨" ٥٠' ١٦٢° - ١٨٠° + (٣٠" ٠٠' ١٧٩° + ٤.٨")
= ٠٧" ٥١' ١٦١° = الانحراف المعلوم.

تتكون المرحلة الثالثة من حسابات الترافرس المغلق من حساب مركبات الخطوط (المعادلة ٥-٦ و ٥-٧) كما في الجدول التالي:

الضلع	الطول (ل)	الانحراف (ز)	Δس= ل جا ز	Δص= ل جتا ز
ب ١	٨٤.٠٠	٢١٤° ١٣' ٢٦.٢"	- ٤٧.٢٤٤	- ٦٩.٤٥٥
١ ٢	١٧٣.٠٠	١٨٨° ١٨' ٣١.٤"	- ٢٨.٠٠٠	- ١٧١.١٨٤
٢ ٣	٩٣.٦٥	١٧٦° ٤٤' ١٦.٦"	+ ٩.٣٢٩	- ٩٣.٤٩٨
٣ ج	١٢٧.٨٥	١٦٢° ٥٠' ٤١.٨"	+ ٣٧.٧١٠	- ١٢٢.١٦٢
المجموع	٤٧٨.٥٠	المجموع الجبري	- ٢٩.٢٠٥	- ٤٥٦.٢٩٩
		المجموع المطلق	١١٥.٢٨٣	٤٥٦.٢٩٩

ثم نحسب قيمة مركبات الخطأ الضلعي للترافرس (المعادلة ٥-٢٦ و ٥-٢٧):

Δ سـت = المجموع المطلق Δ س - س ب – س ج

= ٧٤.١٨٢ – ٢٩.٢٠٥ – ١٠٤٤.٨٤٦ = + ٠.١٣١ متر

Δ صـت = المجموع المطلق Δ ص - ص ب – ص ج

= ١١٢٥.٠٥٣ – ٤٥٦.٢٩٩ – ٦٦٨.٨٩٥ = - ٠.١٤١ متر

نحسب خطأ القفل الضلعي(المعادلة ٥-٨):

Δ ل = √ (Δ سـت^{٢} + Δ سـت^{٢}) = √ ((+٠.١٣١)^{٢} + (-٠.١٤١)^{٢}) = ٠.١٩٢ متر

يتم بعد ذلك تحويل خطأ القفل الضلعي إلي خطأ نسبي (المعادلة ٥-٩):

Δ لر = Δ ل / مجموع أطوال أضلاع الترافرس = ٠.١٩٢ / ٤٧٨.٥٠ = ١ / ٢٤٨٦

وحيث أن قيمة خطأ القفل الضلعي للترافرس المرصود (٢٤٨٦/١) أقل من ٢٠٠٠/١ فنعتبره مسموحا به.ثم نستخدم طريقة المركبات لتوزيع خطأ القفل الضلعي كما في الجدول التالي:

الضلع	Δس	Δص	تصحيح Δس	تصحيحΔص
ب ١	- ٤٧.٢٤٤	- ٦٩.٤٥٥	- ٠.٠٥٤	+ ٠.٠٢١
١ ٢	- ٢٥.٠٠٠	- ١٧١.١٨٤	- ٠.٠٢٨	+ ٠.٠٥٣
٢ ٣	+ ٥.٣٢٩	- ٩٣.٤٩٨	- ٠.٠٠٦	+ ٠.٠٢٩
٣ ج	+ ٣٧.٧١٠	- ١٢٢.١٦٢	- ٠.٠٤٣	+ ٠.٠٣٨
		المجموع الجبري	- ٠.١٣١	= ٠.١٤١
			تحقيق	

الضلع	Δس المصححة	Δص المصححة
ب ١	- ٤٧.٢٩٨	- ٦٩.٤٣٤
١ ٢	- ٢٥.٠٢٨	- ١٧١.١٣١
٢ ٣	+ ٥.٣٢٣	- ٩٣.٤٦٩
٣ ج	+ ٣٧.٦٦٧	- ١٢٢.١٢٤

في الخطوة الأخيرة من حسابات ترافرس الثيودليت يتم حساب الإحداثيات المصححة (النهائيـة) لكل نقطة من نقاط الترافرس باستخدام المركبات المصححة:

النقطة	الضلع	Δ س المصححة	Δ ص المصححة	س	ص
ب				١٠٧٤.١٨٢	١١٢٥.٠٥٣
	ب ١	- ٤٧.٢٩٨	- ٦٩.٤٣٤		
١				١٠٢٦.٨٨٤	١٠٥٥.٦١٩
	١ ٢	- ٢٥.٠٢٨	- ١٧١.١٣١		
٢				١٠٠١.٨٥٦	٨٨٤.٤٨٨
	٢ ٣	+ ٥.٣٢٣	- ٩٣.٤٦٩		
٣				١٠٠٧.١٧٩	٧٩١.٠١٩
	٣ ج	+ ٣٧.٦٦٧	- ١٢٢.١٢٤		
ج	تحقيق			١٠٤٤.٨٤٦	٦٦٨.٨٩٥

٥-٥-٤ الترافرس المفتوح:

لا يستخدم هذا النوع من الترافرس إلا في الأعمال التي لا تتطلب دقة عالية حيث أن الترافرس المفتوح لا يمكن اكتشاف أخطاؤه ولا يمكن تصحيحه. لمحاولة الوصول إلي مصداقية جيدة للترافرس المفتوح فيجب أن يتم رصده بالكامل مرتين علي الأقل ومن الأفضل أن يتم ذلك بواسطة راصدين مختلفين. تعتمد حسابات الترافرس المفتوح علي حساب إحداثيات كل نقطة مرتين (من مجموعتي الأرصاد) ونقارن بينهما فان كان الخطأ في حدود المسموح به فنحسب متوسط الإحداثيات لكل نقطة.

المسموح به (بالثواني) في خطأ القفل الزاوي = ٢ و √ ٢ن		(٥-٣٠)

حيث:
و	دقة الثيودليت المستخدم بالثواني
ن	عدد الزوايا المرصودة

المسموح به (بالسنتيمتر) في الفرق بين إحداثيات المجموعتين لنفس النقطة
= ٢٥ + ٠.٠٦٢ ل + ١.١٣ √ ٢ ل		(٥-٣١)

حيث:
ل	طول ضلع الترافرس.

مثال:

قام راصدان بأخذ الأرصاد التالية لترافرس مفتوح ب ج د يربط علي الخط أ ب الذي يبلغ انحرافه ١٦٢° ١٢'. عين إحداثيات النقطتين ج ، د في هذا الترافرس علما بأن إحداثيات النقطة ب هي ١٠٠ غربا و ٢٥٠ جنوبا.

النقطة	الضلع	الطول (متر)		الزاوية في اتجاه عقرب الساعة	
		الراصد الأول	الراصد الثاني	الراصد الأول	الراصد الثاني
ب				١٣١° ٤٢' ٣٦"	١٣١° ٤١' ٥٤"
	ب ج	١٢٠.١٢	١٢٠.٤٤		
ج				٦٤° ١١' ٠٠"	٦٤° ١٠' ٤٨"
	ج د	٧٨.٤٨	٧٨.٣٠		

لحساب انحرافات أضلاع الترافرس:

انحراف ب ج للراصد الأول = ١٦٢° ١٢' + ١٨٠° + ١٣١° ٤٢' ٣٦" - ٣٦٠°
= ١١٣° ٥٤' ٣٦"

انحراف ب ج للراصد الثاني = ١٢' ١٦٢° + ١٨٠° + ٥٤" ٣١' ١٣١° - ٣٦٠°
= ٥٤" ٥٣' ١١٣°

الفرق بين نتائج الراصدين للخط ب ج = ٣٦" ٥٤' ١١٣° - ٥٤" ٥٣' ١١٣°
= ٤٢"

المسموح به (بالثواني) في خطأ القفل الزاوي = ٢ و √ ٢ن
= ٢ × ٣٠" √ (٢×١) = ٨٤.٨٥"

أي أن الخطأ الزاوي مسموحا به.

بالمثل فأن:

انحراف ج د للراصد الأول = ٣٦" ٠٥' ٣٥٨°
انحراف ج د للراصد الثاني = ٤٢" ٠٤' ٣٥٨°

الفرق = ٥٤ "

المسموح به (بالثواني) في خطأ القفل الزاوي = ٢ و √ ٢ن
= ٢ × ٣٠" √ (٢×٢) = ١٢٠"

أي أن الخطأ الزاوي مسموحا به أيضا.

نحسب مركبات الأضلاع لكلا الراصدين:

الضلع	المركبة الأفقية		المركبة الرأسية	
	للراصد الأول	للراصد الثاني	للراصد الأول	للراصد الثاني
ب ج	+ ١٠٩.٨١	+ ١١٠.١١	- ٤٨.٦٨	- ٤٨.٧٩
ج د	- ٢.٦٢	- ٢.٥٣	+ ٧٨.٤٤	+ ٧٨.٢٦

خطأ المركبة الأفقية للضلع ب ج = + ١٠٩.٨١ – ١١٠.١١ = - ٠.٣٠ متر

خطأ المركبة الرأسية للضلع ب ج = - ٤٨.٦٨ – (-٣٨.٧٩) = + ٠.١١ متر

خطأ القفل الضلعي للخط ب ج = √ (-٠.٣٠ ^٢^ + ٠.١١ ^٢^) = ٠.٣٢ متر

المسموح به لإحداثيات النقطة ج = ٢٥ + ٠.٠٦٢ × ١٢٠ + ١.١٣ √ (٢×١٢٠)
= ٤٩.٩٥ سنتيمتر

أي أن الخطأ في إحداثيات ج في حدود المسموح به.

خطأ المركبة الأفقية للضلع ج د = - ٢.٦٢ – (-٢.٦٣) = + ٠.٠١ متر

خطأ المركبة الرأسية للضلع ج د = + ٧٨.٤٤ – (٧٨.٢٦) = + ٠.١٨ متر

خطأ المركبة الأفقية عند د = خطأ المركبة الأفقية عند ج + خطأ المركبة الأفقية للخط ج د
= - ٠.٣٠ + ٠.٠١ = - ٠.٢٩ متر

خطأ المركبة الرأسية عند د = خطأ المركبة الرأسية عند ج +خطأ المركبة الرأسية للخط ج د
= + ٠.١١ + ٠.١٨ = + ٠.٢٩ متر

خطأ القفل الضلعي عند النقطة د = √ (-٠.٢٩ ^٢^ + ٠.٢٩ ^٢^) = ٠.٤١ متر

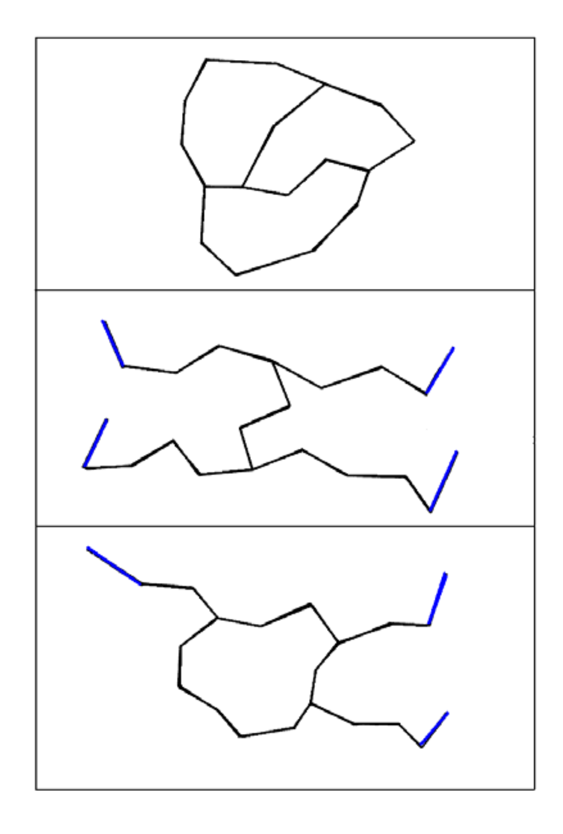
المسموح به لإحداثيات النقطة د = ٢٥ + ٠.٠٦٢ × (١٢٠+٧٨) +
١.١٣ √ (٢×(١٢٠+٧٨)) = ٥٩.٧٦ سنتيمتر

أي أن الخطأ في إحداثيات د في حدود المسموح به أيضا.
طالما أن الخطأ مسموحا به فنحسب إحداثيات النقاط كمتوسط للإحداثيات المحسوبة من واقع أرصاد الراصدين:

الخط	الراصد الأول		الراصد الثاني		المتوسط	
	س	ص	س	ص	س	ص
ب	١٠٠-	١٥٠ -	١٠٠-	١٥٠-	١٠٠-	١٥٠-
ب ج	+١٠٩.٨١	- ٤٨.٦٨	+١١٠.١١	٤٨.٧٩-		
ج	+٩.٨١	١٩٨.٦٨-	+١٠.١١	١٩٨.٧٩-	+٩.٩٦	١٩٨.٧٣٥-
ج د	٢.٦٢-	+٧٨.٤٤	٢.٦٣-	+٧٨.٢٦		
د	+٧.١٩	١٢٠.٢٤-	+٧.٤٨	١٢٠.٥٣-	+٧.٣٣٥	١٢٠.٣٨٥-

٥-٦ شبكات الترافرس:

عند رفع منطقة جغرافية شاسعة فربما لا يكفي إنشاء ترافرس واحد يغطي المنطقة كلها ، وهنا يلجأ الراصد إلي إنشاء مجموعات أو حلقات من الترافرس تكون معا ما يعرف بشبكة الترافرس. قد تكون شبكة الترافرس مكونة من عدة حلقات (ترافرسات) مغلقة أو من ترافرسات مغلق مع ترافرسات موصلة. مرة أخري فأننا نتجنب الترافرس المفتوح في الأعمال المساحية التي تتطلب دقة عالية.

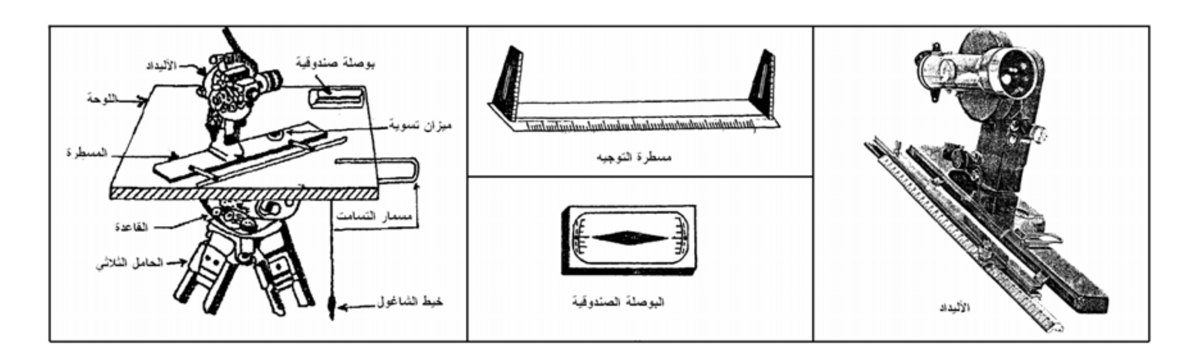


شكل (٥-٢٢) شبكة الترافرس

تتشابه أعمال الرصد و الرفع المساحي لشبكة ترافرس من تلك الخطوات المعتادة في إنشاء الترافرس المغلق أو الموصل ، إلا أنها قد تختلف في الأعمال المكتبية و الحسابات للوصول إلي الإحداثيات المضبوطة لجميع نقاط الشبكة. توجد عدة طرق حسابية لشبكة الترافرس (مثل طريقة بوبوف) إلا أن المستخدم حاليا ومع توافر أجهزة الحاسبات الآلية وبرامجها المتخصصة أن يتم استخدام طرق ضبط الشبكات Network Adjustment للوصول لدقة عالية في حساب إحداثيات نقاط الشبكة.

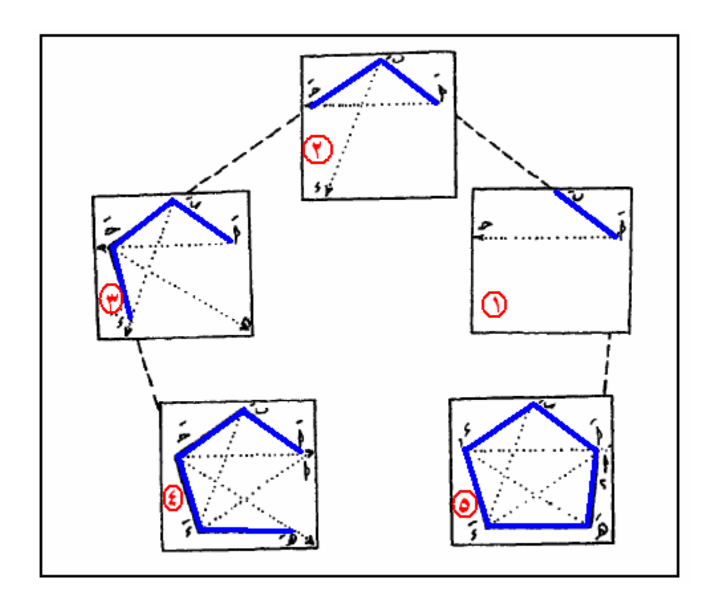
٥-٧ اللوحة المستوية:

اللوحة المستوية Plan Table (البلانشيطة كما يطلق عليها في مصر) هي جهاز مساحي كان مستخدما في السابق في أعمال المساحة وخاصة المساحة التفصيلية لقطع الأراضي الصغيرة. تتكون اللوحة المستوية من أليداد (مثل أليداد الثيودليت) مركب علي مسطرة مدرجة توضع علي لوحة خشبية أفقية تثبت فوقها قطعة من الورق.



شكل (٥-٢٣) اللوحة المستوية

تبدأ أعمال الرفع المساحي باستخدام اللوحة المستوية من إنشاء نقاط المضلع الرئيسي (مثل العمل بالثيودليت) مع توقيع هذا المضلع علي اللوحة مباشرة باستخدام مقياس الرسم المطلوب للخريطة. للرفع المساحي يبدأ العمل باحتلال أول نقطة من نقاط المضلع والتوجيه ناحية الأهداف (المعالم) المطلوب رفعها مع رسم خطوط التوجيه علي اللوحة. ننقل للنقطة التالية من نقاط المضلع ونكرر نفس الخطوات. بذلك فأن لكل معلم سيكون هناك خطي توجيه علي اللوحة (من نقطتين من نقاط المضلع الرئيسي) ومن ثم فأن تقاطع هذين الخطين يحدد موقع المعلم علي اللوحة. كان من أهم مميزات اللوحة المستوية أن الخريطة يتم الحصول عليها مع العمل الحقلي في آن واحد ، إلا أنه كجهاز مساحي أصبح قليل (أو نادر) الاستخدام حاليا.



شكل (٥-٢٤) مثال لخطوات الرفع باللوحة المستوية

الفصل السادس

الميزانية

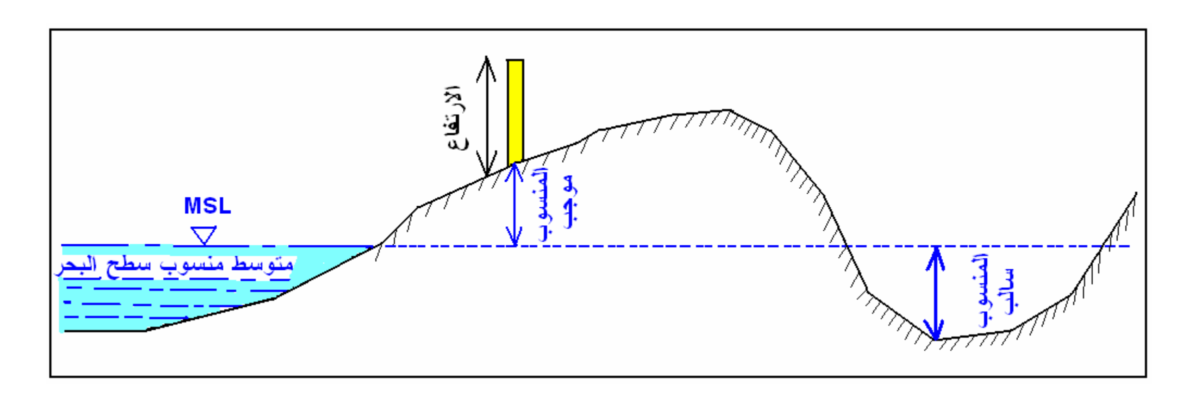
تستخدم تطبيقات المساحة مثل الشريط و الثيودليت في تحديد مواقع (إحداثيات) المعالم الجغرافية في مستوي ، أي من خلال تحديد بعدين (س ، ص) لكل نقطة. إلا أن الأرض ليست مستوي إنما هي مجسم شبه كروي وسطحه ليس مستويا بل تتخلله الجبال و الوديان و المنخفضات ، ولتمثيل أي معلم علي الأرض يلزمنا ثلاثة أبعاد وليس أثنين فقط. هذا البعد الثالث (البعد الرأسي) هو الهدف الذي تسعي الميزانية لقياسه. الميزانية هي فرع المساحة الذي يبحث في الطرق المختلفة لقياس البعد الثالث (الارتفاعات) للمعالم الجغرافية علي سطح الأرض.

الميزانية (أو التسوية) من أهم تطبيقات علم المساحة في كافة المشروعات المدنية و العسكرية علي الأرض، فهي أساس العمل المساحي في تنفيذ مشروعات البناء و الجسور و الكباري و الطرق و السكك الحديدية والترع و المصارف والسدود وتسوية الأراضي ... الخ.

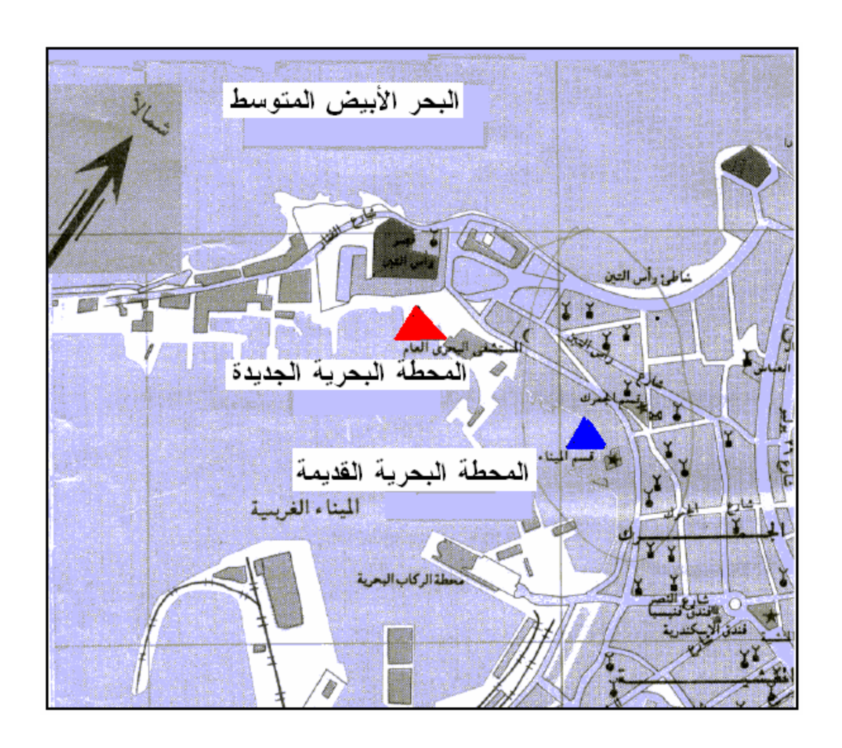
٦-١ المنسوب والارتفاع

لتحديد البعد الرأسي (ارتفاع أو الانخفاض) لمجموعة من النقاط يلزم سطح مرجعي أو مستوي مقارنه تنسب إليه جميع القياسات ، أي سطح عين يكون الارتفاع عنده مساويا للصفر. يتكون كوكب الأرض من مياه (بحار و محيطات) تغطي ٧٥% من إجمالي سطح الكوكب بينما تمثل اليابسة (القارات) الجزء المتبقي. لذلك أتخذ علماء المساحة منذ مئات السنين مستوي سطح البحر (وامتداده الوهمي تحت اليابسة) كسطح مرجعي لقياس الارتفاعات. بما أن مياه البحار و المحيطات تتأثر علي سطحها بالتيارات البحرية اليومية و تأثيرات المد و الجزر فأن مستوي المقارنة هو متوسط منسوب سطح البحر Mean Sea Level أو اختصارا MSL. فإذا تم قياس البعد الرأسي لأي معلم بدءا من أي مرجع فنطلق علي هذا القياس أسم "الارتفاع Height" بينما إذا تم القياس بدءا من متوسط منسوب سطح البحر MSL فنطلق علي هذا البعد أسم "المنسوب Level". أي أن المنسوب هو ارتفاع من نوع خاص تم قياسه أو تحديده بدءا من متوسط منسوب سطح البحر. يكون المنسوب موجبا إن كان أعلي من منسوب متوسط سطح البحر ، ويكون سالبا إن كان أقل منه.

قامت كل دولة بتحديد متوسط منسوب سطح البحر MSL في نقطة محددة ومن ثم تم اعتبار تلك النقطة هي أساس كل القياسات الرأسية (المناسيب) في هذه الدولة. مثلا في مصر فأن محطة تحديد متوسط منسوب سطح البحر كانت في ميناء الإسكندرية (علي ساحل البحر الأبيض المتوسط) في عام ١٩٠٧م ولذلك نجد في أسفل كل خريطة مصرية جملة "المناسيب مقاسة نسبة إلي متوسط منسوب سطح البحر عند الإسكندرية في عام ١٩٠٧م". أما في المملكة العربية السعودية فالنقطة الأساسية كانت في مدينة جدة (علي ساحل البحر الأحمر) في عام ١٩٦٩م. كانت هذه العملية تتم من خلال قياس و تسجيل ارتفاع مياه سطح البحر داخل بئر - قريب من ساحل البحر وتدخله مياه البحر عن طريق أنبوبة – كل ساعة علي مدار اليوم ولمدة زمنية طويلة تتجاوز عدة سنوات حتى يمكن حساب متوسط هذه القياسات وبالتالي تحديد النقطة (داخل هذا البئر) التي يكون عندها متوسط منسوب سطح البحر مساويا للصفر. في مصر تمت هذه القياسات للفترة ١٨٩٨م - ١٩٠٧م حتى تم تحديد MSL لمصر.



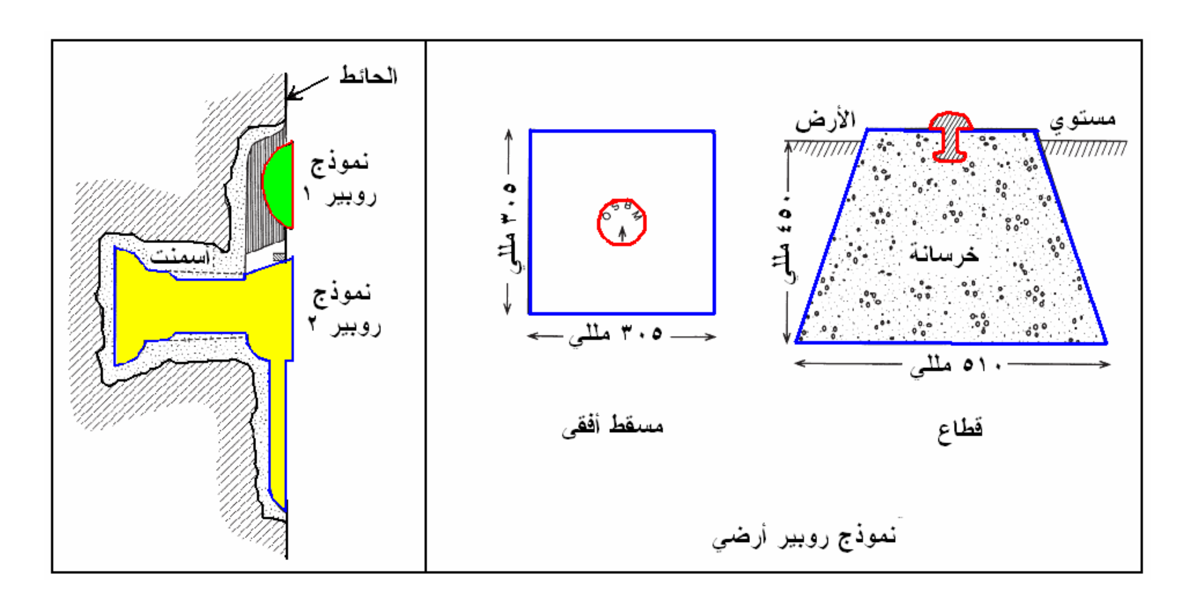
شكل (٦-١) الارتفاع و المنسوب



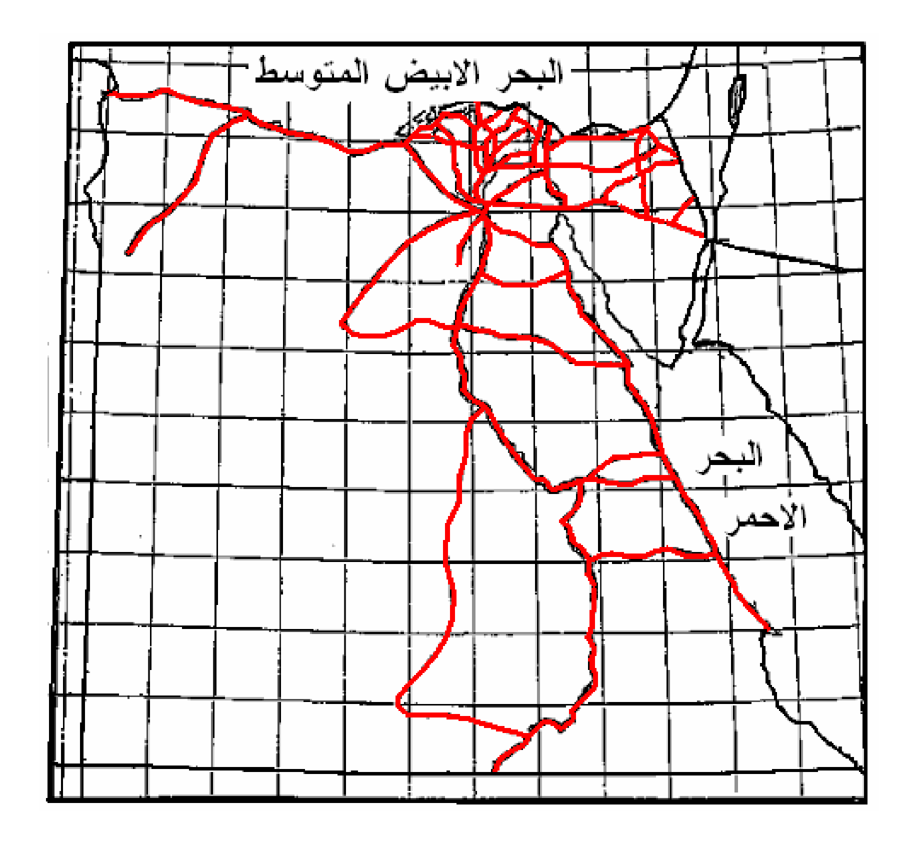
شكل (٦-٢) محطة قياس منسوب سطح البحر في مصر

بعد تحديد متوسط منسوب سطح البحر للدولة يتم بناء نقطة ثوابت (علامة أرضية) بالقرب من هذا البئر ويتم قياس ارتفاع هذه النقطة عن متوسط منسوب سطح البحر (أي يتم تحديد منسوب هذه النقطة). أطلق أسم Bench Mark أو اختصارا "BM" أو "الروبير" علي هذه النقطة وعلي كل نقطة معلومة المنسوب. وبطريقة معينة (الميزانية التي سنتحدث عنها لاحقا) تم بناء مجموعة من علامات BM الروبيرات بحيث تغطي كافة الأنحاء المعمورة من الدولة، وهذا ما يطلق عليه أسم شبكة الثوابت الرأسية أو شبكات الميزانية أو الشبكات المساحية الرأسية. وبالتالي فتكون فأن من مهام الجهة الحكومية المسئولة عن المساحة في الدولة (هيئة المساحة في مصر أو إدارة المساحة العسكرية في السعودية) توفير نقاط روبيرات داخل كل مدينة في هذه الدولة بحيث يمكن لأي مشروع هندسي أن يبدأ من نقطة BM معلومة المنسوب بالقرب من موقع المشروع. تكون الروبيرات أما مثبتة في حائط أي مبني (غالبا مبني حكومي) وتسمي روبيرات الحائط أو مثبتة في الأرض وتسمي روبيرات أرضية. ويتم الحصول علي معلومات

أي روبير (موقعه بالتحديد وقيمة منسوبة) من الجهة المسئولة عن أعمال المساحة في هذه المدينة أو هذه الدولة.



شكل (٦-٣) أنواع و نماذج روبيرات



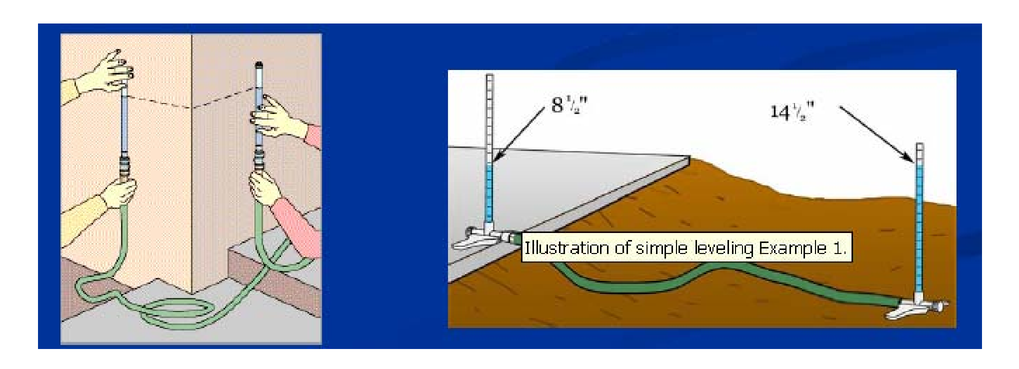
شكل (٦-٤) شبكة الروبيرات الأساسية في مصر

٦-٢ الميزانية Levelling:

الميزانية هي العملية المساحية التي من خلالها يتم تحديد ارتفاع أي نقطة عن متوسط منسوب سطح البحر. تنقسم الميزانية إلي نوعين رئيسيان: (١) ميزانية مباشرة أو ميزانية هندسية Direct or Spirit Levelling وهي الموضوع الأساسي في هذا الفصل ، (٢) ميزانية غير مباشرة مثل الميزانية البارومترية و الميزانية الهيدروستاتيكية و الميزانية المثلثية. تعتمد الميزانية البارومترية علي مبدأ أن الضغط الجوي يتناسب عكسيا مع الارتفاع فوق مستوي سطح البحر ، فإذا تمكننا من قياس فرق الضغط الجوي بين نقطتين (باستخدام جهاز البارومتر) فيمكن تحويله حسابيا إلي فرق المنسوب بين هاتين النقطتين. تعد دقة الميزانية البارومترية دقة منخفضة ولا تستخدم إلا في أعمال الاستكشاف. تعتمد الميزانية الهيدروستاتيكية علي نظرية الأواني المستطرقة ، فإذا وضعنا أسطوانتين زجاجيتين مملوءتان بسائل (علي نقطتين) وبينهما أنبوب من المطاط ويوجد تدريج علي جدار كلا منهما فأن فرق قراءة هذين التدريجين يعبر عن فرق المنسوب بين كلتا النقطتين. ينحصر استخدام الميزانية الهيدروستاتيكية في المسافات القصيرة جدا حيث أن طول الأنبوب الواصل بين كلا الزجاجتين لا يكون طويلا بصفة عامة. تعتمد الميزانية المثلثية علي قياس الزاوية الرأسية بين نقطتين (باستخدام الثيودليت) وقياس المسافة المائلة بينهما (بالشريط أو باستخدام EDM) ثم حساب فرق الارتفاع بين هاتين النقطتين. حديثا أمكن قياس فرق الارتفاع بين النقاط باستخدام تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع المعروف بأسم GPS ثم تحويله حسابيا إلي فرق المنسوب بين هذه النقاط.

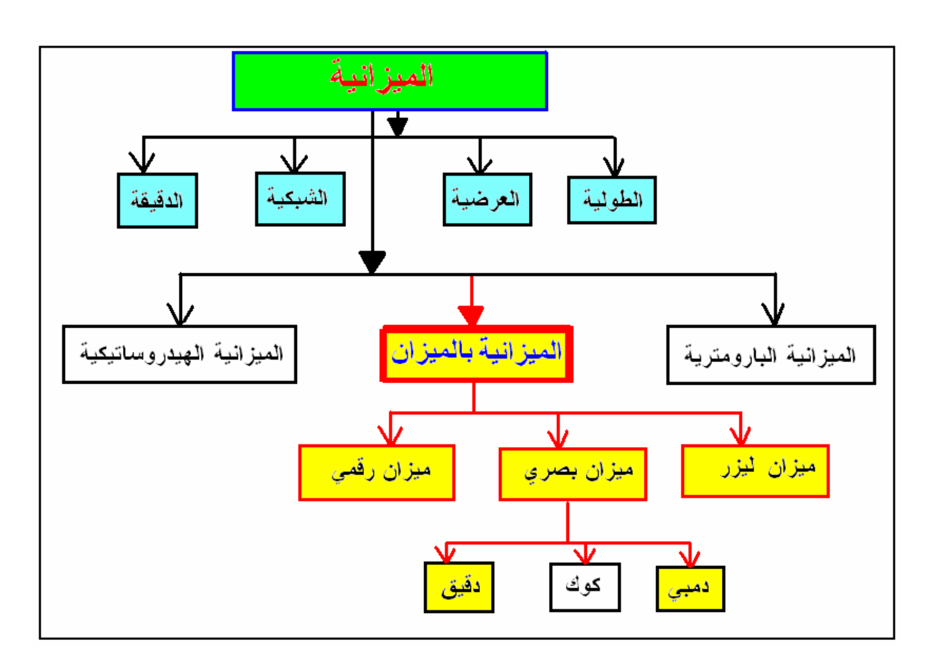


شكل (٦-٥) أجهزة الميزانية البارومترية



شكل (٦-٦) الميزانية الهيدروستاتيكية

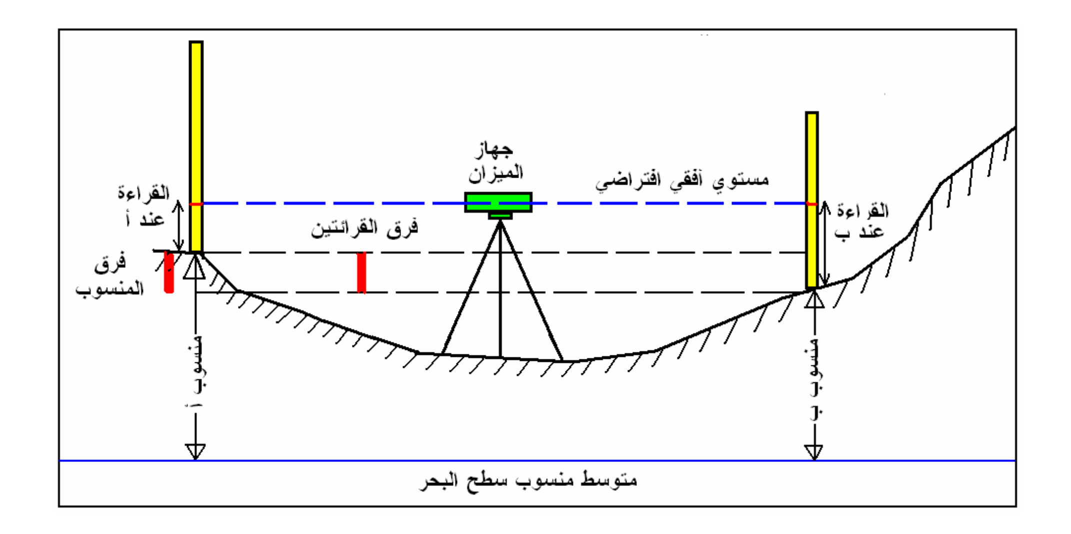
تنقسم الميزانية المباشرة من حيث أسلوب تنفيذها في الطبيعة إلي ميزانية طولية (في اتجاه طولي مثل محور طريق) و عرضية (مثل قطاعات عرضية علي المحور الأساسي للمشروع) و شبكية (تغطي منطقة من الأرض) ، وفي حالة الوصول لدقة عالية في تحديد فروق المناسيب (باستخدام أجهزة خاصة عالية الدقة) فتسمي الميزانية بالميزانية الدقيقة.

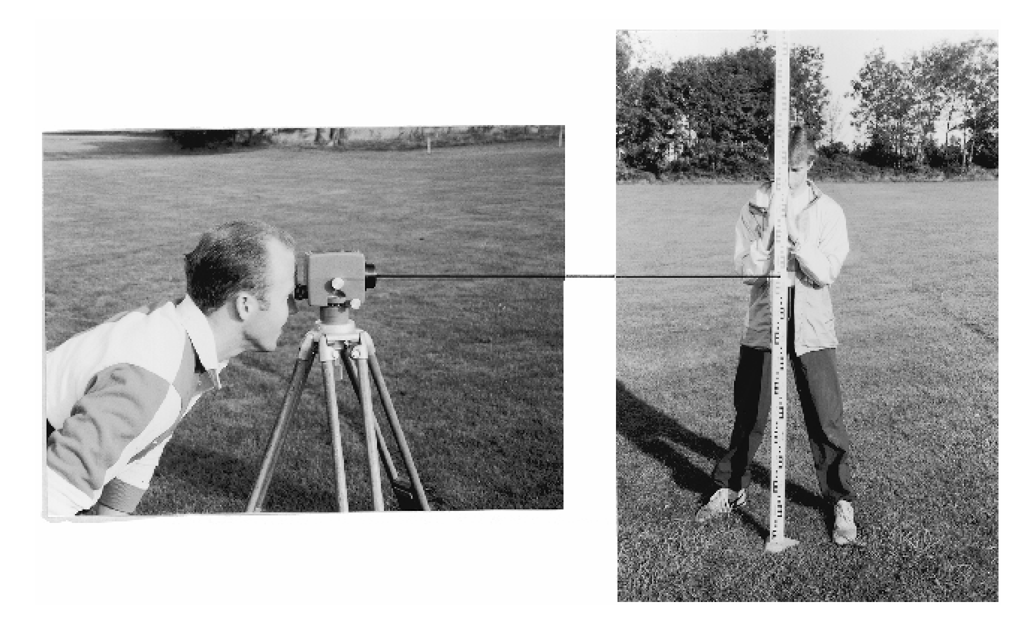


شكل (٦-٧) الميزانية

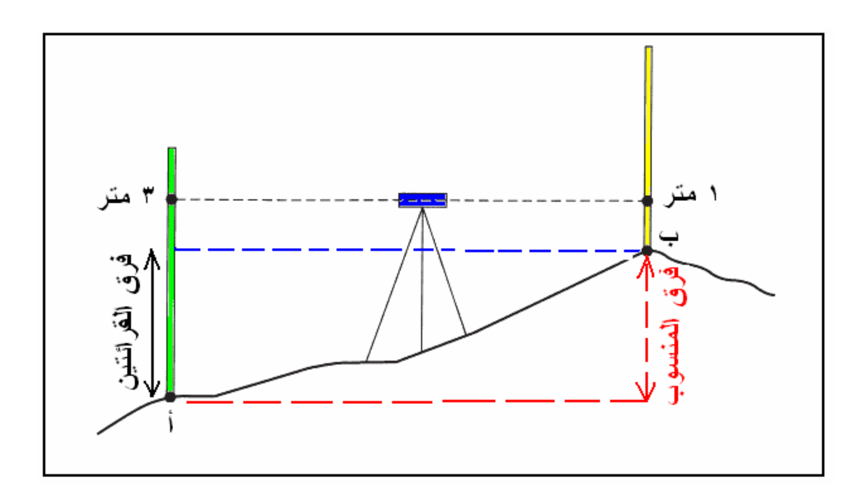
تعتمد فكرة الميزانية المباشرة (أو الميزانية الهندسية) علي وجود جهاز يحدد المستوي الأفقي بين نقطتين (يسمي جهاز الميزان) مع وجود مسطرة مدرجة (تسمي قامة) توضع رأسيا عند كل نقطة. فإذا تم تحديد تقاطع المستوي الأفقي مع المسطرة (القامة) عند كل نقطة وتسجيل هاتين القراءتين فأن فرق الارتفاع (فرق المنسوب) بين النقطتين هو فرق قراءتي القامتين. فإذا علمنا منسوب نقطة منهما أمكن حساب منسوب النقطة الثانية.

أذا أخذنا المثال التالي حيث وضعت القامة الأولي عند النقطة أ معلومة المنسوب ووضعت القامة الثانية عند النقطة ب المطلوب تحديد منسوبها. وضع جهاز الميزان بين النقطتين وكانت قراءة القامة عند أ تبلغ ٣ متر بينما قراءة القامة عند ب تبلغ ١ متر. إذن فرق القراءتين يساوي ٢ متر ، وهو نفس قيمة فرق المنسوب بين النقطتين أ و ب. فإذا علمنا منسوب النقطة أ (ارتفاعها عن منسوب متوسط سطح البحر) فيمكن حساب منسوب النقطة الثانية ب.





شكل (٦-٨) مبدأ الميزانية المباشرة



شكل (٦-٩) مثال للميزانية المباشرة

٦-٣ جهاز الميزان و ملحقاته:

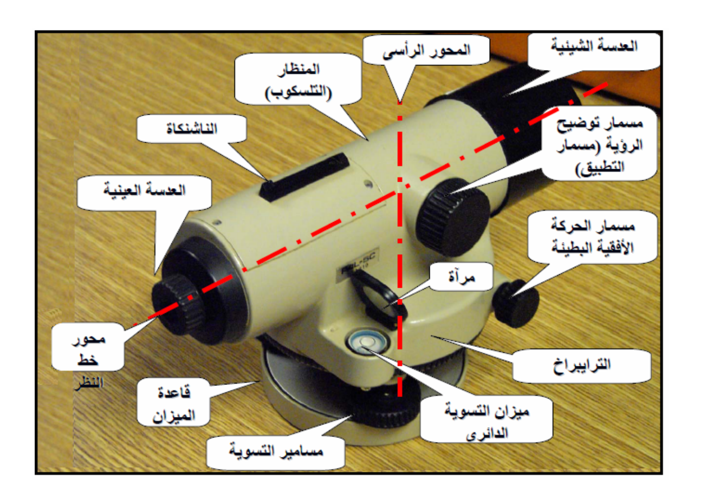
الميزان Level هو الجهاز المساحي المستخدم للحصول علي مستوي أفقي وهمي يوازي متوسط منسوب سطح البحر. تتكون أجهزة الميزان بصفة عامة من مجموعتين الميزان البصري والميزان الالكتروني أو الرقمي. تشمل أجهزة الميزان البصري فئتين: (أ) ميزان كوك Cook's Level (القديم غير المستخدم حاليا) والذي كان منظاره مركب علي طوقين أو حلقتين بحيث يمكن فك المنظار وعكس اتجاهه ثم تركيبه علي قاعدته مرة أخري ، (ب) ميزان دمبي Dumby's Level وهو الأحدث والشائع حاليا حيث منظاره غير قابل للعكس.

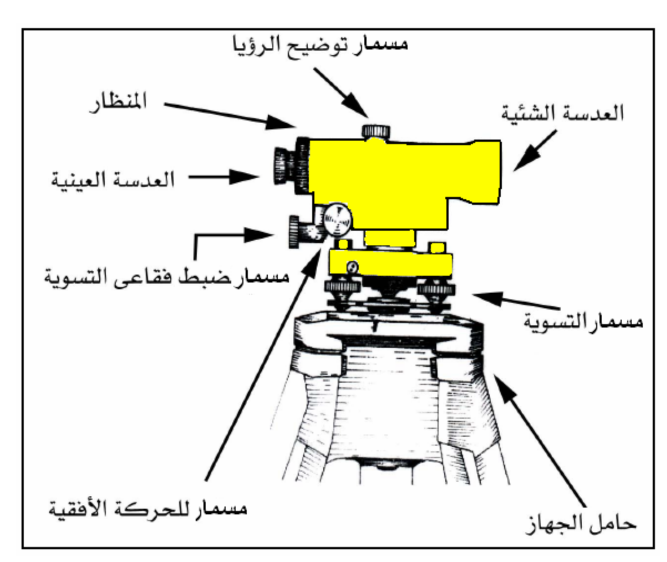


شكل (٦-١٠) أجهزة ميزان بصري من نوع دمبي

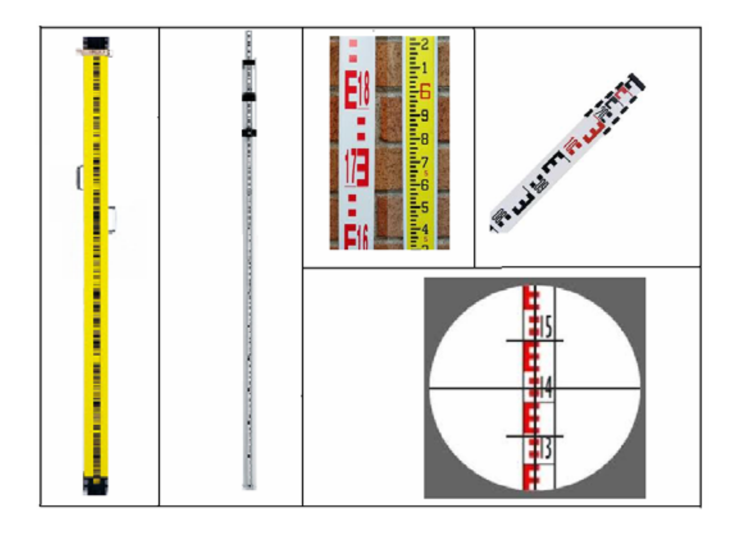
يتكون جهاز الميزان البصري من: المنظار أو التلسكوب ويوجد علي أحد طرفيه العدسة العينية وعلي الطرف الآخر العدسة الشيئية ومثبت أعلاه أداة التوجيه نحو الهدف (الناشنكاه) ومركب علي جانبه مسمار توضيح الرؤية المسمي مسمار التطبيق، علي الترابراخ يوجد مسمار الحركة الأفقية البطيئة للميزان بالإضافة لميزان التسوية الدائري وثلاثة مسامير لضبط أفقية الجهاز. ويركب الميزان علي قاعدته التي توضع علي الحامل الثلاثي (الخشبي أو الألمونيوم) عند الرصد. بعض أجهزة الميزان بها مراه أعلي ميزان التسوية الدائري لكي يتمكن الراصد من التحقق من أفقية الجهاز باستمرار. أجهزة الميزان الحديثة يوجد بداخلها ميزان تسوية آخر يمكن رؤيته من داخل العدسة العينية لكي يتم الحصول علي أفقية تامة للجهاز عند كل رصدة. أيضا في بعض أجهزة الميزان يوجد أسفل الترابراخ قرص (منقلة أو دائرة أفقية) مدرج لقياس الزوايا الأفقية ، بدقة الدرجة أو كسورها.

تعد القامة Staff أهم الأدوات المستخدمة مع جهاز الميزان لإجراء أعمال الميزانية (قياس فرق الارتفاع) في الطبيعة. القامة هي مسطرة مدرجة لأمتار وسنتيمترات يتراوح طولها بين ٣ و ٥ أمتار وان كان الطول الشائع للقامة هو ٤ أمتار. تصنع القامة إما من الخشب أو من الألمونيوم و توجد عدة أنواع من القامات فمنها: (أ) القامة المطوية التي تتكون من أكثر من قطعة متصلين و يمكن طيهم و عند الاستعمال تفرد القامة في استقامة واحدة ، (ب) القامة التلسكوبية أو المتداخلة حيث تتكون من ثلاثة (أو أربعة) أجزاء متداخلة تنزلق داخل بعضها وتتميز بصغر طولها عند عدم الاستخدام و ضمان عدم وجود ميل في أي جزء من أجزاء القامة ، (ج) القامة المنزلقة وتتكون من جزأين منفصلين أحداهما ينزلق و راء الآخر في مجرى صغير ، (د) القامة ذات القطعة الواحدة والتي غالبا لا يتجاوز طولها المترين حتى يسهل حملها. يتم استخدام قامتين (أو أكثر) مع كل ميزان لإتمام أعمال الميزانية أو التسوية وذلك لسرعة إتمام العمل الحقلي.



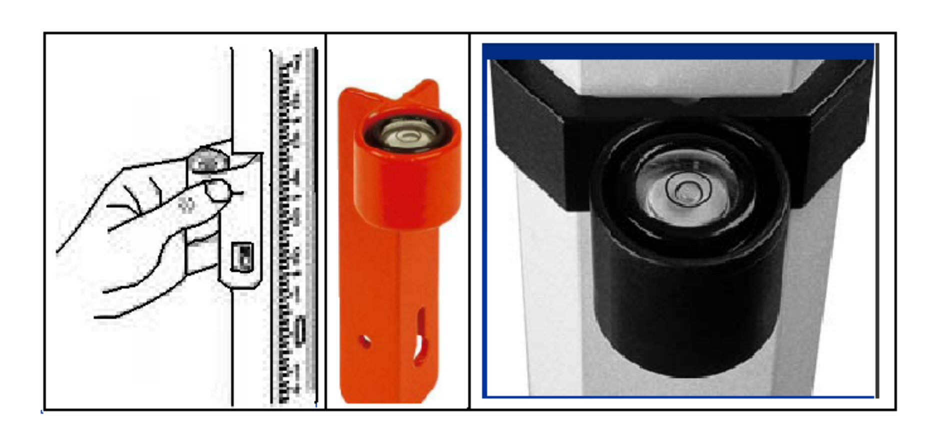


شكل (٦-١١) مكونات الميزان البصري



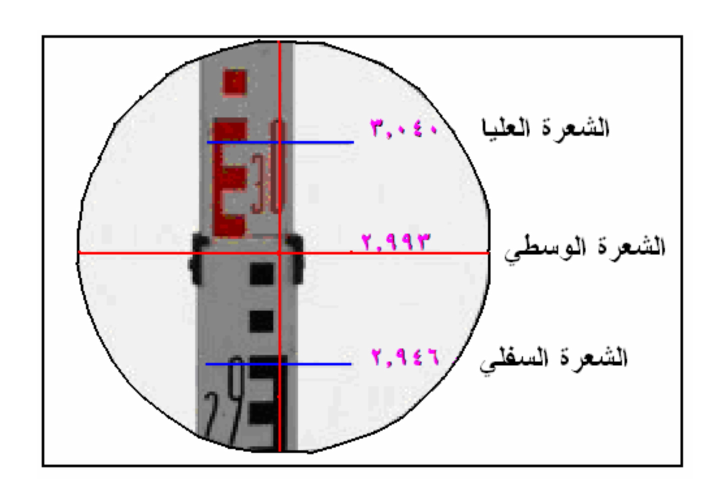
شكل (٦-١٢) القامة

تشمل أدوات الميزان المساعدة أيضا: (١) ميزان تسوية صغير يتم تثبيته خلف أو جانب القامة لضمان رأسية القامة ذاتها وعدم ميلها أثناء الرصد ، (٢) قاعدة حديدية توضع تحت القامة عند الرصد في الأراضي الرخوة أو الترابية أو الرملية ، (٣) دفتر الميزانية لتسجيل القراءات (أو الأرصاد) في الطبيعة.



شكل (٦-١٣) ميزان تسوية القامة

يوجد بالميزان حامل للشعرات يمكن الراصد من أخذ ٣ قراءات علي القامة: الشعرة الوسطي هي التي تحدد قراءة القامة المستخدمة في حساب فرق المنسوب ، بينما الشعرتين العليا و الوسطي (يطلق عليهم أسم شعرات الاستاديا) يتم استخدامهما في حساب المسافة الأفقية بين القامتين.



شكل (٦-١٤) القراءات علي القامة

تطورت أجهزة الميزان لتظهر مجموعة أخري منها تسمي الميزان الرقمي أو الالكتروني والذي يتميز بإمكانية تسجيل القراءات في ذاكرة الميزان (بدلا من استعمال دفتر الميزانية) وأيضا وجود لوحة مفاتيح علي الجهاز لتسجيل أية بيانات متعلقة بالمشروع. بعض الأجهزة الالكترونية تستخدم قامة من نوع خاص bar-code staff (ليست قامة مدرجة بالأرقام العادية) بحيث أن الميزان يحدد تقاطع المستوي الأفقي مع هذه القامة بصورة الكترونية ومنها يحس قيمة فرق الارتفاع بين الميزان و القامة. وبالتالي فيزيد سعر الميزان الرقمي عن سعر مثيله العادي. أيضا توجد بعض أنواع الميزان الالكتروني تسمي أجهزة ذاتية الضبط -self

levelling حيث يوجد داخل الميزان جهاز موازنة compensator يمكنه الحفاظ علي أفقية الميزان (بعد ضبطه أول مرة) ، فإذا مال الميزان قليلا يقوم جهاز الموازنة بإعادته مرة أخري للوضع الأفقي السليم. يستخدم الميزان ذاتي الضبط في المواقع الإنشائية التي تكثر بها حركة المعدات الثقيلة واهتزازات الأرض مما يؤثر علي أفقية الميزان كثيرا.





شكل (٦-١٥) أجهزة ميزان بصري رقمي أو الكتروني

يعتمد ميزان الليزر علي مبدأ إطلاق أشعة ليزر في مستوي أفقي حتى تنعكس عند اصطدامها بقامة من نوع خاص وبالتالي يقوم جهاز مستقبل الليزر - الذي يتحرك علي القامة - بتحديد قراءة تدريج هذه النقطة الكترونيا ، ويتم تسجيل القياسات آليا داخل ذاكرة الجهاز. أي أن العمل بميزان الليزر لا يتطلب أي توجيه بصري إلي القامة وبالتالي فأن الراصد يتواجد مع القامة (وليس الميزان). يشيع استخدام أجهزة ميزان الليزر في أعمال التشييد والبناء لكن سعرها أغلي من أجهزة الميزان البصري.

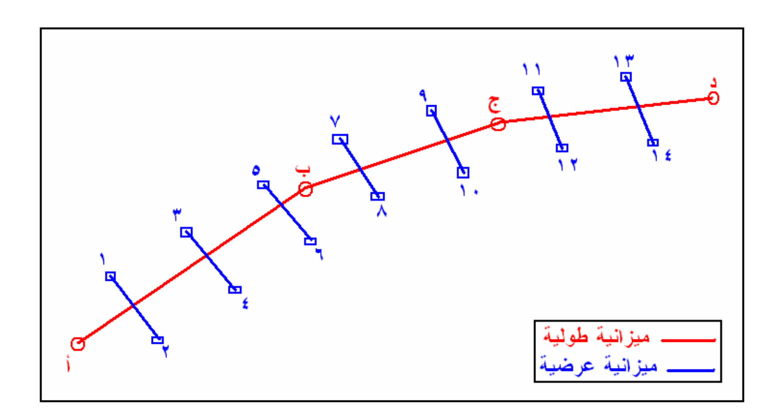


شكل (٦-١٦) أجهزة ميزان ليزر

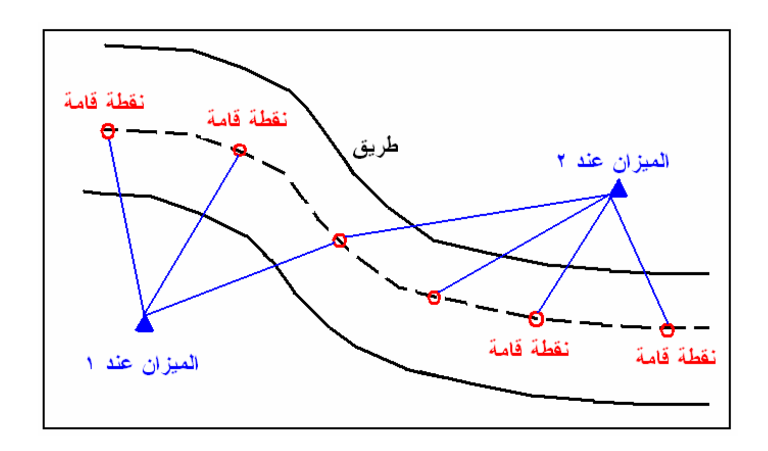
يتكون الضبط المؤقت لجهاز الميزان (استخدامه في الطبيعة) من ضبط أفقية الميزان باستخدام مسامير التسوية الثلاثة بنفس طريقة ضبط أفقية جهاز الثيودليت. استخدام الميزان لا يشمل أية عمليات تسامت حيث أن الميزان يتم استخدامه في أي مكان في الموقع ولا يتطلب احتلال نقطة معينة ، لكن عند بدء العمل فأن القامة توضع علي النقطة معلومة المنسوب BM.

٦-٤ أعمال الميزانية الطولية والعرضية:

الميزانية الطولية هي عملية قياس فروق الارتفاعات (ثم حساب المناسيب) لمجموعة من النقاط علي خط واحد أي في الاتجاه الطولي للمشروع مثل الطرق و الجسور و الكباري. وبرسم ارتفاعات (أو مناسيب) هذه النقاط نحصل علي القطاع الطولي - تضاريس – للمشروع. أما الميزانية العرضية – كما هو واضح من أسمها – فهي قياس فروق الارتفاعات لمجموعة من النقاط العرضية أو العمودية علي محور المشروع لرسم القطاعات العرضية لتضاريس العمل.



شكل (٦-١٧) الميزانية الطولية و العرضية

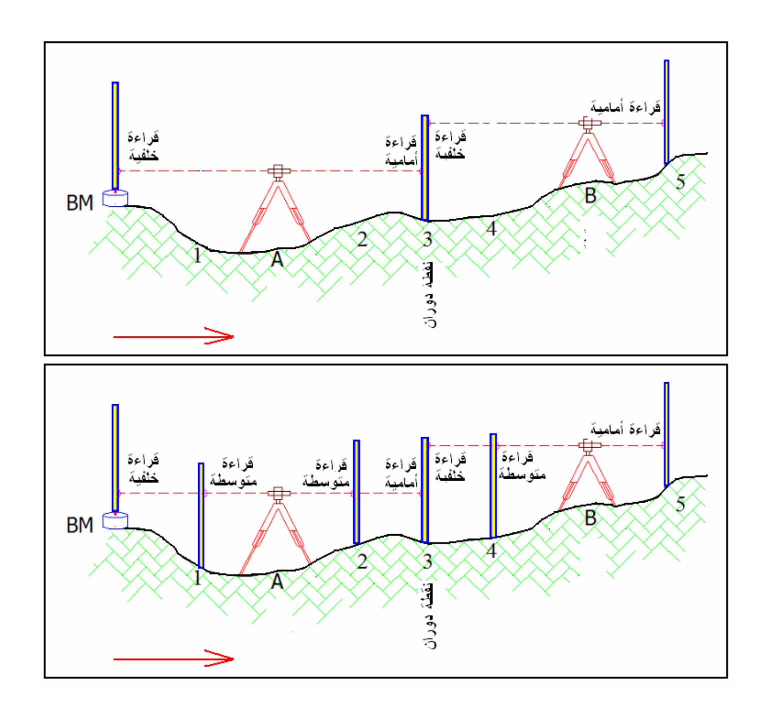


شكل (٦-١٨) الميزانية الطولية

عند إجراء الميزانية الطولية (وأيضا العرضية) يقف جهاز الميزان في عدد من النقاط ويكون هناك عدة أنواع من القراءات علي القامة:

القراءة الخلفية أو المؤخرة Back Sight or BS: أول قراءة تؤخذ علي القامة بعد تثبيت الميزان في أي نقطة.
القراءة الأمامية أو المقدمة For Sight or FS: آخر قراءة تؤخذ علي القامة قبل نقل الميزان إلي النقطة التالية.
القراءة المتوسطة Intermediate Sight or IS: كل قراءة تؤخذ علي القامة بين قراءتي الخلفية و الأمامية.

نقطة الدوران أو التحول Turning point: النقطة التي يؤخذ عندها علي القامة قراءة خلفية و قراءة أمامية.



شكل (٦-١٩) خطوات الميزانية الطولية

يبدأ العمل الحقلي بوضع الميزان عند أي نقطة اختباريه بالقرب من الروبير أو BM (نقطة A في الشكل) بينما يتم وضع القامة الأولي أعلي الروبير والقامة الثانية بعد الميزان في الاتجاه المطلوب إجراء الميزانية الطولية خلاله (نقطة ٣ في الشكل). يفضل أن يكون وضع الميزان في منتصف المسافة (بقدر الإمكان) بين كلتا القامتين. يتم ضبط أفقية الميزان باستخدام مسامير التسوية كما يتم ضبط رأسية كل قامة من خلال ميزان التسوية الجانبي. يتم تسجيل القراءة علي القامة الخلفية في دفتر الأرصاد (أو في ذاكرة الجهاز) ، ثم يدور الميزان أفقيا ويتم التوجيه علي القامة الثانية (القامة الأمامية) وتسجيل قراءتها أيضا. تظل القامة الثانية (الأمامية) في مكانها بينما تتحرك القامة الأولي (التي كانت خلفية) إلي موقع جديد (النقطة ٥ في الشكل)، وينقل الميزان أيضا لموقعه الجديد (النقطة B في الشكل). يتم ضبط أفقية الميزان ورأسية كلتا القامتين ثم تسجيل القراءة علي القامة الخلفية ثم القامة الأمامية. أي أن النقطة ٣ (في الشكل) أصبحت نقطة دوران حيث تم رصدها مرة كقراءة أمامية (من الميزان عند A) ومرة كقراءة خلفية (من الميزان عند B). يتم تكرار هذه الخطوات طوال المحور الطولي (الخط المطلوب للميزانية) حتى تصل القامة الأمامية لتحتل نقطة الهدف الأخيرة في هذا المحور.

أيضا يمكن تنفيذ ميزانية عرضية – أثناء إجراء ميزانية طولية – من خلال تطبيق النقاط المتوسطة ، سواء باستخدام احدي القامتين الرئيستين أو باستخدام قامة ثالثة. أثناء وقوف الميزان عند النقطة علي محور الميزانية الطولية (نقطة A في الشكل) يتم وضع قامة عند النقطة علي القطاع العرضي المطلوب (نقطة ١ في الشكل) وتسجيل قراءتها في دفتر الأرصاد ، ثم تنقل هذه القامة للنقطة ٢ (في الشكل) وتسجل قراءتها أيضا ليصبح لدينا قراءتين متوسطتين يحددا فرق ارتفاع كلتا نهايتي القطاع العرضي المطلوب.

٦-٥ حسابات الميزانية المباشرة:

توجد طريقتين لحساب فرق المنسوب بين نقطتين تم إجراء ميزانية (طولية) بينهما باستخدام الميزان البصري العادي: طريقة سطح الميزان و طريقة الارتفاع و الانخفاض. أما الميزان الالكتروني أو الرقمي فلديه إمكانيات لإتمام الحسابات داخل برنامج الحاسب الآلي الخاص به. فإذا علمنا منسوب النقطة الأولي BM فيتم حساب منسوب النقطة (أو النقاط) المطلوبة. إن لم منسوب نقطة البداية معلوما فيمكن فرض قيمة له لتتم الحسابات بها (ما يطلق عليه أسم الصفر الخاص لهذا المشروع).

٦-٥-١ طريقة سطح الميزان:

في هذه الطريقة يتم حساب منسوب نقطة القامة الأمامية كالآتي:

منسوب سطح الميزان = منسوب النقطة الخلفية (المعلومة) + قراءتها الخلفية (٦-١)

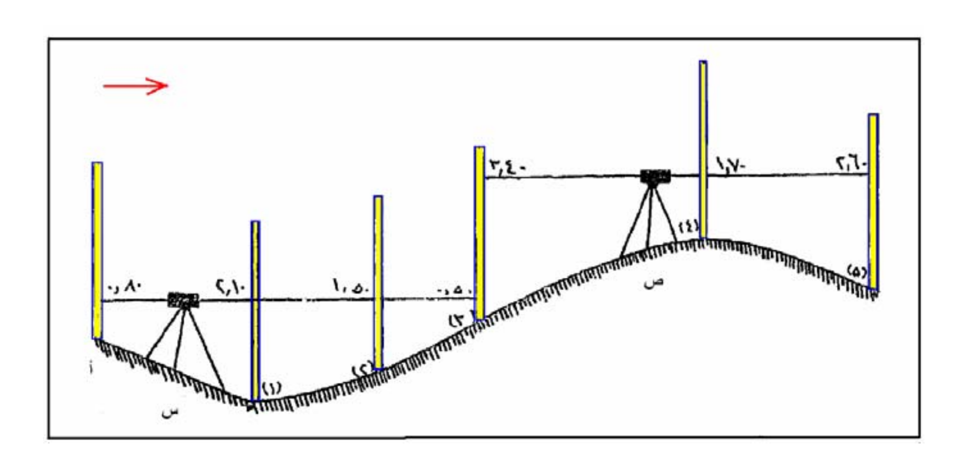
منسوب النقطة الأمامية = منسوب سطح الميزان - قراءتها الأمامية (٦-٢)

وبعد حساب منسوب النقطة الأمامية فتكون قد تحولت إلي نقطة معلومة المنسوب ويتم استخدامها كنقطة خلفية معلومة للنقطة التالية ، وهكذا.

التحقيق الحسابي في نهاية الميزانية:

منسوب آخر نقطة – منسوب أول نقطة = مجموع المؤخرات – مجموع المقدمات (٦-٣)

مثال:
بدأت ميزانية طولية من نقطة أ المعلوم منسوبها (١٠.٥٠ متر) ووضع الميزان عند نقطة س و أخذت القراءات ١ ، ٢ ، ٣ ثم أنتقل الميزان للنقطة ص ،أخذت القراءات عند ٣ ، ٤ ، ٥. أحسب مناسيب جميع النقاط.



شكل (٦-٢٠) مثال للميزانية طولية

منسوب سطح الميزان عند س = منسوب النقطة الخلفية (المعلومة) + القراءة الخلفية

= ١٠.٥٠ + ٠.٨٠ = ١١.٣٠ متر

منسوب النقطة الأمامية عند ١ = منسوب سطح الميزان - قراءتها الأمامية
= ١١.٣٠ – ٢.١٠ = ٩.٢٠ متر

منسوب النقطة الأمامية عند ٢ = منسوب سطح الميزان - قراءتها الأمامية
= ١١.٣٠ – ١.٥٠ = ٩.٨٠ متر

منسوب النقطة الأمامية عند ٣ = منسوب سطح الميزان - قراءتها الأمامية
= ١١.٣٠ – ٠.٥٠ = ١٠.٨٠ متر

الآن أصبحت النقطة ٣ معلومة المنسوب وأنتقل الميزان إلي النقطة ص:

منسوب سطح الميزان عند ص = منسوب النقطة الخلفية (٣) + القراءة الخلفية
= ١٠.٨٠ + ٣.٤٠ = ١٤.٢٠ متر

منسوب النقطة الأمامية عند ٤ = منسوب سطح الميزان - قراءتها الأمامية
= ١٤.٢٠ – ١.٧٠ = ١٢.٥٠ متر

منسوب النقطة الأمامية عند ٥ = منسوب سطح الميزان - قراءتها الأمامية
= ١٤.٢٠ – ٢.٦٠ = ١١.٦٠ متر

غالبا تتم حسابات الميزانية في الطبيعة وفي نفس دفتر تسجيل الأرصاد كالتالي:

النقطة	قراءات القامة			منسوب سطح الميزان	المنسوب	ملاحظات
	خلفية	متوسطة	أمامية			
أ	٠.٨٠			١١.٣٠	١٠.٥٠	نقطة روبير
١		٢.١٠			٩.٢٠	
٢		١.٥٠			٩.٨٠	
٣	٣.٤٠		٠.٥٠	١٤.٢٠	١٠.٨٠	نقطة دوران
٤		١.٧٠			١٢.٥٠	
٥			٢.٦٠		١١.٦٠	
المجموع	٤.٢٠		٣.١٠			

التحقيق الحسابي في نهاية الميزانية:
منسوب آخر نقطة – منسوب أول نقطة = مجموع المؤخرات – مجموع المقدمات
منسوب آخر نقطة – منسوب أول نقطة = ١١.٦٠ – ١٠.٥٠ = ١.١٠ متر
مجموع المؤخرات – مجموع المقدمات = ٤.٢٠ – ٣.١٠ = ١.١٠ متر
إذن العمل سليم.

٦-٥-٢ طريقة الارتفاع و الانخفاض:

تعتمد هذه الطريقة علي مقارنة كل نقطة بالنقطة السابقة لها (في الميزانية الطولية) ومعرفة قيمة الارتفاع أو الانخفاض عنها. كلما زادت قراءة القامة كان ذلك دليلا علي انخفاض النقطة عن النقطة السابقة لها وكلما قلت قراءة القامة دل ذلك علي ارتفاع النقطة المقارنة.

فرق الارتفاع بين نقطتين = قراءة القامة الخلفية – قراءة القامة الأمامية (٦-٤)

منسوب النقطة الأمامية = منسوب النقطة الخلفية + فرق الارتفاع (٦-٥)

التحقيق الحسابي في نهاية الميزانية:

مجموع الارتفاعات = مجموع الانخفاضات
= منسوب آخر نقطة – منسوب أول نقطة
= مجموع المؤخرات – مجموع المقدمات (٦-٦)

في المثال السابق (شكل ٦-١٦):
فرق الارتفاع بين النقطتين أ - ١ = ٠.٨٠ – ٢.١٠ = - ١.٣٠ متر

منسوب النقطة ١ = منسوب النقطة أ + فرق الارتفاع بينهما
= ١٠.٥٠ + (-١.٣٠) = ١٠.٥٠ - ١.٣٠ = ٩.٢٠ متر

فرق الارتفاع بين النقطتين ١ - ٢ = ٢.١٠ – ١.٥٠ = + ٠.٦٠ متر

منسوب النقطة ٢ = منسوب النقطة ١ + فرق الارتفاع بينهما
= ٩.٢٠ + ٠.٦٠ = ٩.٨٠ متر

فرق الارتفاع بين النقطتين ٢ - ٣ = ١.٥٠ – ٠.٥٠ = + ١.٠٠ متر

منسوب النقطة ٣ = منسوب النقطة ٢ + فرق الارتفاع بينهما
= ٩.٨٠ + ١.٠٠ = ١٠.٨٠ متر

فرق الارتفاع بين النقطتين ٣ - ٤ = ٣.٤٠ – ١.٧٠ = + ١.٧٠ متر

منسوب النقطة ٤ = منسوب النقطة ٣ + فرق الارتفاع بينهما
= ١٠.٨٠ + ١.٧٠ = ١٢.٥٠ متر

فرق الارتفاع بين النقطتين ٤ - ٥ = ١.٧٠ – ٢.٦٠ = - ٠.٩٠ متر

منسوب النقطة ٥ = منسوب النقطة ٤ + فرق الارتفاع بينهما
= ١٢.٥٠ + (- ٠.٩٠) = ١٢.٥٠ – ٠.٩٠ = ١١.٦٠ متر
ويكون جدول الأرصاد و الحسابات كالتالي:

النقطة	قراءات القامة			فرق الارتفاع	المنسوب	ملاحظات
	خلفية	متوسطة	أمامية			
أ	٠.٨٠				١٠.٥٠	نقطة روبير
١		٢.١٠		- ١.٣٠	٩.٢٠	
٢		١.٥٠		+ ٠.٦٠	٩.٨٠	
٣	٣.٤٠		٠.٥٠	+ ١.٠٠	١٠.٨٠	نقطة دوران
٤		١.٧٠		+ ١.٧٠	١٢.٥٠	
٥			٢.٦٠	- ٠.٩٠	١١.٦٠	
المجموع	٤.٢٠		٣.١٠			

التحقيق الحسابي:

مجموع الارتفاعات - مجموع الانخفاضات =
= منسوب آخر نقطة – منسوب أول نقطة
= مجموع المؤخرات – مجموع المقدمات

مجموع الارتفاعات = ٠.٦٠ + ١.٠٠ + ١.٧٠ = ٣.٣٠ متر
مجموع الانخفاضات = ١.٣٠ + ٠.٩٠ = ٢.٢٠ متر
مجموع الارتفاعات – مجموع الانخفاضات = ٣.٣٠ = ٢.٢٠ = ١.١٠ متر
منسوب آخر نقطة – منسوب أول نقطة = ١١.٦٠ – ١٠.٥٠ = ١.١٠ متر
مجموع المؤخرات – مجموع المقدمات = ٤.٢٠ – ٣.١٠ = ١.١٠ متر
إذن العمل سليم.

٦-٥-٣ حساب خطأ الميزانية:

توجد عدة طرق لتقدير قيمة الخطأ في أرصاد الميزانية الطولية ومقارنته بالحدود المسموح بها لقبول أو رفض (إعادة رصد) الميزانية. تشمل هذه الطرق: (١) قفل أو إنهاء الميزانية علي نقطة معلومة المنسوب BM إن كان متوافرا بمنطقة العمل ، (٢) تنفيذ الميزانية مرتين أحدهما ذهابا والآخر ايابا في حالة عدم توافر روبير في نهاية الميزانية.

في حالة توافر روبير في نهاية الميزانية:

خطأ الميزانية = المنسوب المعلوم للروبير الأخير –
منسوبه المحسوب من أرصاد الميزانية (٦-٥)

في حالة عدم توافر روبير في نهاية الميزانية:

خطأ الميزانية = المنسوب المعلوم للروبير الأول –
منسوبه المحسوب من أرصاد الميزانية في خط الإياب (٦-٦)
أو يمكن حسابه بصورة أخري:

خطأ الميزانية = فرق الارتفاع بين طرفي خط الذهاب –
فرق الارتفاع بين طرفي خط الإياب (٦-٧)

أما الحدود المسموح بها في الميزانية العادية فتعتمد علي طول خط الميزانية. من أسهل طرق الحصول طول خط الميزانية إما باستخدام الشريط في قياس المسافة بين كل خلفية و أمامية ثم جمع هذه المسافات لحساب الطول الإجمالي للميزانية. أيضا يمكن حساب المسافة بين المإيزان وأي قامة (سواء الخلفية أو الأمامية) في حالة تسجيل قراءة الشعرتين العليا و السفلي (شعرات الاستاديا) في كل قراءة قامة ثم حساب المسافة:

المسافة بين الميزان و القامة = (قراءة الشعرة العليا – قراءة الشعرة السفلي)
× ثابت الميزان (٦-٨)

حيث ثابت الميزان غالبا = ١٠٠ وان كان يجب التأكد من ذلك لكل ميزان مستخدم وذلك من الكتالوج الخاص به.

يتم حساب المسافة بين الميزان والقامة الخلفية و المسافة بين الميزان والقامة الأمامية عند كل وقفة ميزان ، ثم يتم جمع جميع المسافات للحصول علي الطول الكلي لخط الميزانية والذي يستخدم لحساب قيمة الخطأ المسموح به:

الخطأ المسموح به بالمليمتر = ن √ ك (٦-٩)

حيث:
ك طول خط الميزانية بالكيلومتر
ن ثابت يعتمد علي نوع و دقة الميزانية المطلوبة

تعتمد قيمة الثابت (ن) علي المواصفات الفنية التي تحددها الجهة المسئولة عن المساحة في بلد ما أو علي مواصفات المشروع المساحي ذاته. فعلي سبيل المثال فأن الهيئة العامة للمساحة المصرية تعتمد قيم الثابت (ن) كالتالي:

ن = ٤ لميزانية الدرجة الأولي (لحلقات الميزانية)
ن = ٥ لميزانية الدرجة الأولي (لخط الميزانية)
ن = ٨ لميزانية الدرجة الثانية
ن = ١٢ لميزانية الدرجة الثالثة

في المثال السابق تم قياس المسافات بالشريط وتسجيلها في دفتر الأرصاد كالتالي:

النقطة	قراءات القامة			فرق الارتفاع	المنسوب	المسافة بالمتر
	خلفية	متوسطة	أمامية			
أ	٠.٨٠				١٠.٥٠	صفر
١		٢.١٠		- ١.٣٠	٩.٢٠	٣٥
٢		١.٥٠		+ ٠.٦٠	٩.٨٠	٣١
٣	٣.٤٠		٠.٥٠	+ ١.٠٠	١٠.٨٠	١٩
٤		١.٧٠		+ ١.٧٠	١٢.٥٠	٣٧
٥			٢.٦٠	- ٠.٩٠	١١.٦٠	٤٢
المجموع	٤.٢٠		٣.١٠			١٦٤ متر ٠.١٦٤ كيلومتر

فان كانت الميزانية في هذا المثال من الدرجة الأولي فأن:

الخطأ المسموح به بالمليمتر = ٥ √ ك = ٥ (√ ٠.١٦٤) = ٢.٠٢ ملليمتر

وان كانت الميزانية في هذا المثال من الدرجة الثانية فأن:

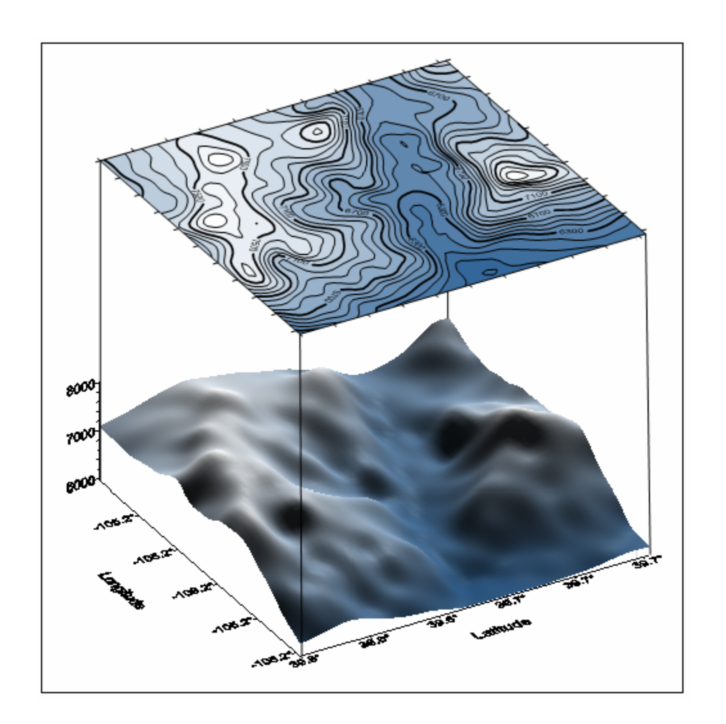
الخطأ المسموح به بالمليمتر = ٨ √ ك = ٨ (√ ٠.١٦٤) = ٣.٢٤ ملليمتر

وان كانت الميزانية في هذا المثال من الدرجة الثالثة فأن:

الخطأ المسموح به بالمليمتر = ١٢ √ ك = ١٢ (√ ٠.١٦٤) = ٤.٨٦ ملليمتر

٦-٦ الميزانية الشبكية:

الهدف من الميزانية الشبكية هو تحديد مناسيب مجموعة من النقاط في منطقة جغرافية معينة ، أي أنها يمكن تخيلها أنها مجموعة من خطوط الميزانيات الطولية و العرضية التي تكون شبكة فيما بينها ومن هنا جاء اسم الميزانية الشبكية. من خلال قياس فروق المناسيب بين هذه النقاط يمكن رسم خريطة (أو خرائط) لتضاريس الأرض في هذه المنطقة لاستخدامها في حساب كميات الحفر أو الردم اللازمة لمشروع هندسي معين. أهم تلك الخرائط المساحية - الناتجة عن الميزانية الشبكية - هي المعروفة باسم الخريطة الكنتورية حيث خط الكنتور هو الخط الوهمي الذي يصل بين مجموعة من النقاط التي لها نفس المنسوب.



شكل (٦-٢١) خطوط الكنتور

توجد عدة برامج حاسب إلي software لعمل الخريطة الكنتورية مثل برنامج Surfer وبرنامج Global Mapper وأيضا إمكانيات الكنتور في برامج نظم المعلومات الجغرافية مثل برنامج Arc GIS (أنظر المراجع للحصول علي ملفات تدريبية لاستخدام هذه البرامج في تطوير الخرائط الكنتورية).

يمكن تنفيذ الميزانية الشبكية باستخدام عدة أنواع من الأجهزة المساحية لكن سيتم في هذا الجزء فقط تناول كيفية استخدام الميزان. طريقة الرصد و الحساب في الميزانية الشبكية لا تختلف عن تلك في الميزانية العرضية لكن توجد عدة طرق حقلية لتنفيذ الجانب العملي للميزانية الشبكية ومنها:

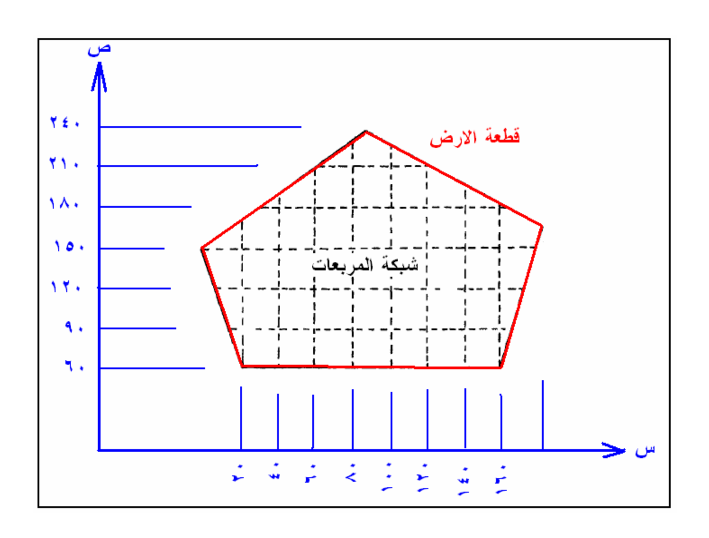
(أ) طريقة القطاعات الطولية و العرضية:

يتم تنفيذ عدة خطوط ميزانية طولية و عرضية تغطي منطقة العمل المطلوبة بنفس خطوات الميزانية الطولية العادية. يتم تحديد الإحداثيات الأفقية لبداية و نهاية كل خط ميزانية باستخدام الثيودليت كما في حالة إنشاء مضلع رئيسي السابق شرحها ، أما إحداثيات نقاط الميزانية علي مسار كل خط ميزانية طولية فيمكن توقيعها باستخدام المسافات المقاسة علي الميزانية الطولية من نقطة بدايتها إلي النقطة المرصودة. بهذه الطريقة سيمكن الحصول – في نهاية العمل الحقلي – علي الإحداثيات الأفقية و أيضا المنسوب لكل نقطة مما يمكننا من رسم الخريطة الكنتورية لاحقا.

(ب) طريقة المربعات أو المستطيلات:

المربعات هي أسهل طرق تنفيذ الميزانية الشبكية لقطعة أرض صغيرة المساحة ولا يوجد بها اختلافات كبيرة في مناسيبها أو تضاريسها. يتم تغطية الأرض بشبكة من المربعات (أو

المستطيلات) في الحقل باستخدام مادة الجير الأبيض (تسمي هذه الخطوة في مصر باسم تجيير الأرض). لتحديد الإحداثيات الأفقية لرؤوس الشبكة يتم استخدام الثيودليت لإنشاء مضلع رئيسي – ترافرس – بدءا من نقطة معلومة الإحداثيات. في حالة عدم توفر نقطة ثوابت أرضية بالقرب من منطقة العمل فيمكن استخدام إحداثيات وهمية لرؤوس المربعات من خلال فرض قيم إحداثيات معينة (صفر ، صفر مثلا) لأحد أركان الشبكة ، ومن خلال معرفة طول ضلع المربع يتم استنتاج إحداثيات باقي نقاط الشبكة. يقوم جهاز الميزان بالوقوف في نقطة متوسطة من قطعة الأرض ثم يبدأ في رصد القامة المثبتة علي النقطة المعلوم منسوبها (في حالة توافر BM في منطقة العمل) ثم تتحرك القامة (أو مجموعة القامات) لرصد فرق ارتفاع جميع رؤوس مربعات الشبكة تباعا. في حالة أن حدود قطعة الأرض لا تنطبق تماما علي حدود شبكة المربعات فيتم رصد فرق المنسوب عند نقاط أركان الأرض أيضا. بهذا الأسلوب سينتج الإحداثيات الثلاثية (س ، ص ، المنسوب) لجميع نقاط شبكة المربعات والتي ستستخدم في إنشاء الخريطة الكنتورية. يعتمد تحديد طول ضلع المربع (أو أبعاد المستطيل) عند إنشاء الشبكة علي طبيعة تضاريس الأرض وأيضا علي قيمة الفترة الكنتورية اللازمة لإنشاء الخريطة الكنتورية.

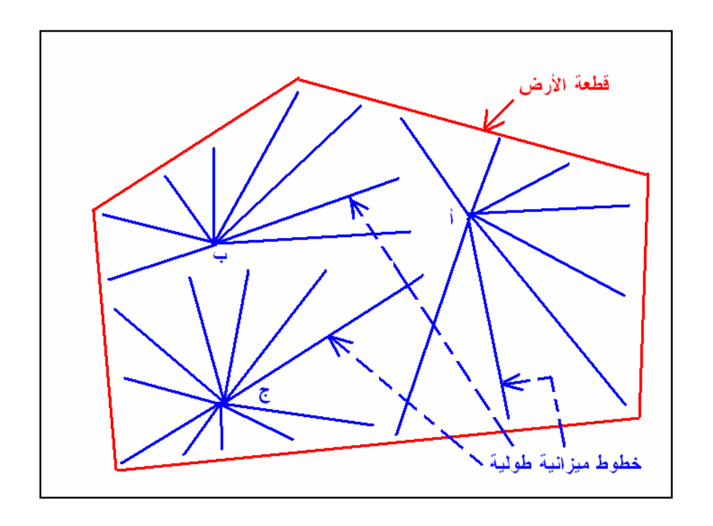


شكل (٦-٢٢) الميزانية الشبكية بطريقة المربعات

<u>(ج) طريقة الإشعاع:</u>

تستخدم طريقة الإشعاع في المناطق المرتفعة أو التلال حيث يتم تنفيذ عدة ميزانيات طولية علي عدد من الخطوط الإشعاعية التي تبدأ من أعلي نقطة في منطقة العمل (قمة التل). لتحديد اتجاهات هذه الخطوط الإشعاعية يتم استخدام البوصلة لقياس الانحراف المغناطيسي لكل شعاع (حتى يمكن توقيعه لاحقا علي الخريطة). أيضا يمكن استخدام الثيودليت لتحديد الإحداثيات الأفقية لنقطة قمة التل و نقاط نهاية كل اتجاه شعاعي. بعد ذلك تبدأ خطوات الميزانية الطولية علي مسار كل اتجاه شعاعي من هذه الأشعة. في حالة أن نقطة قمة التل لا تغطي حدود كل منطقة العمل فيمكن نقل الميزان إلي أكثر من نقطة مع ربط هذه النقاط بمضلع حتى يمكن توقيعها علي الخريطة ، ونكون مجموعة من الأشعة عند كل نقطة حتى يتم تغطية كامل منطقة المشروع. يتعمد اختيار المسافات بين الخطوط الإشعاعية و كذلك المسافات بين النقاط في كل خط علي طبيعة تضاريس الأرض ، فكلما زاد انحدار الأرض نقلل من المسافة بين كل خط

إشعاعي و آخر وكذلك نقلل المسافة بين النقاط المرصودة (نقاط القامة) علي مسار الخط حتى نحصل علي تمثيل جيد لطبيعة تضاريس الأرض بمنطقة العمل.



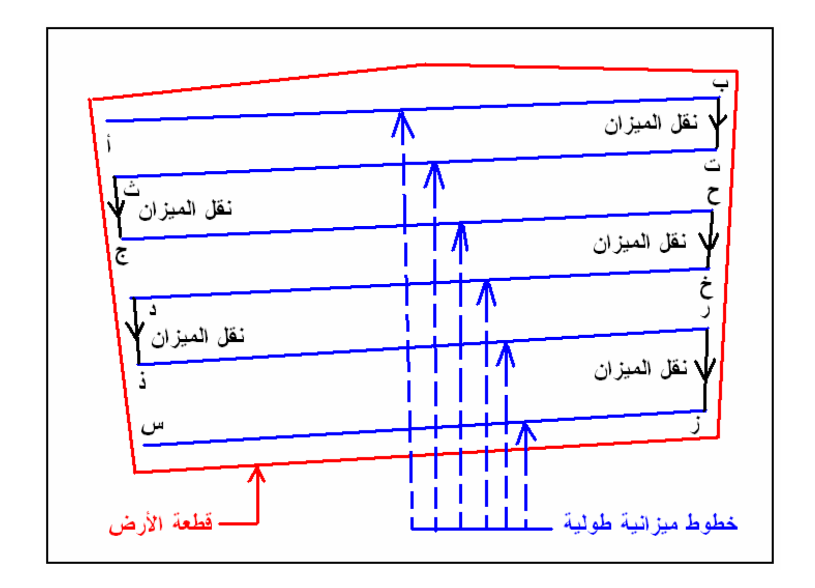
شكل (٦-٢٣) الميزانية الشبكية بطريقة الإشعاع

(د) طريقة النقاط المتفرقة:

تشبه طريقة النقاط المتفرقة (أو النقاط المبعثرة) طريقة الإشعاع حيث يتم رصد فروق المناسيب عند مجموعة من النقاط التي تغطي منطقة العمل دون الالتزام بمسار خط إشعاعي معين. طبقا لطبيعة تضاريس الأرض في منطقة المشروع يقوم الراصد بتحديد عدد و أماكن هذه النقاط المرصودة (نقاط القامة) بحيث يتم الحصول علي تمثيل جيد و دقيق لطبوغرافية سطح الأرض بالمنطقة ، أي أن طريقة النقاط المتفرقة تعتمد علي خبرة الراصد. تستخدم البوصلة (أو الثيودليت) في تحديد الإحداثيات الأفقية (س ، ص) لكل نقطة مرصودة (نقاط القامة). غالبا تستخدم طريقة النقاط المتفرقة عند استخدام أسلوب الرفع التاكيومتري سواء بجهاز الثيودليت أو بجهاز المحطة الشاملة (أنظر لاحقا).

(ذ) طريقة خط السير:

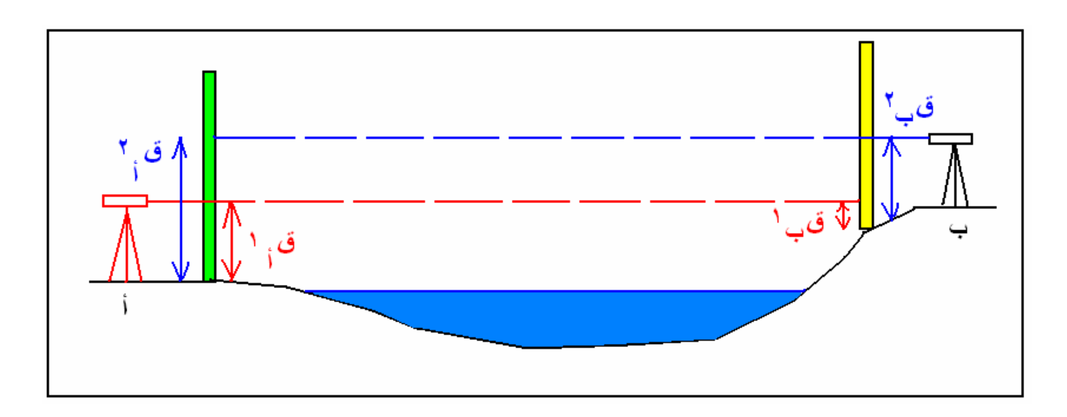
تعتمد هذه الطريقة علي تنفيذ عدد من خطوط الميزانية الطولية المتوازية بامتداد أحد أضلاع منطقة العمل ، خاصة إن كانت الأرض تأخذ شكل المستطيل تقريبا. يتم استخدام البوصلة أو الثيودليت لتوقيع خطوط السير (الإحداثيات الأفقية لبداية و نهاية كل خط) ، ويعتمد اختيار عدد الخطوط والمسافة بين نقاط القامة في كل خط علي طبيعة تضاريس و طبوغرافية منطقة المشروع ذاتها. في الشكل التالي يبدأ خط الميزانية الطولية الأول من نقطة أ إلي نقطة ب ثم ينتقل الميزان ليبدأ خط الميزانية الطولية الثاني الذي يبدأ من نقطة ت و يستمر حتى نقطة ث ثم ينتقل ليبدأ خط الميزانية الطولية الثالث الذي يبدأ من نقطة ج يصل إلي نقطة ح ... وهكذا حتى يتم الانتهاء من رصد جميع خطوط السير (خطوط الميزانية الطولية). إن كانت طبيعة الأرض لا تسمح بتنفيذ خطوط السير بحيث تكون متوازية فيمكن العمل في أية خطوط مع استخدام البوصلة أو الثيودليت لتحديد الإحداثيات الأفقية لبداية و نهاية كل خط سير.



شكل (٦-٢٤) الميزانية الشبكية بطريقة خطوط السير

٦-٧ الميزانية العكسية:

من مواصفات إجراء الميزانية الطولية أن يكون الميزان – بقر الإمكان – في منتصف المسافة بين القامة الأمامية و القامة الخلفية. فان لم يتحقق هذا الشرط فأن الميزانية ستتعرض لتأثير أن خط النظر سيكون مائلا وأيضا ستتعرض لتأثير تكور سطح الأرض. في هذه الحالة ننفذ الميزانية العكسية والتي تتمثل في إجراء ميزانيتين مختلفتين في الاتجاه (ومن هنا جاء أسم الميزانية العكسية). من أمثلة هذا الوضع أننا نريد قياس فرق المنسوب بين نقطتين علي جانبي نهر أو مجري مائي حيث لا يمكن وضع الميزان في منتصف المسافة. نضع الميزان في أحد جاني النهر (أو أيا كان المشروع) ونأخذ قراءتي قامة أحداهما نفس جانب النهر و الأخرى علي الجهة المقابلة من النهر. ثم ننقل الميزان للضفة الأخرى من النهر ونكرر نفس العمل ونأخذ القراءات علي نفس القامتين (دون أن يتحركا من مكانهما). نحسب فرق المنسوب من كلا وضعي الميزان ثم نحسب متوسطهما ليكون هو فرق المنسوب بين النقطتين.



شكل (٦-٢٥) الميزانية العكسية

مثال:

أجريت الميزانية العكسية بين النقطتين أ ، ب. وضع الميزان قريبا من نقطة أ وكانت قراءة القامة عند أ تساوي ١.٤٨٣ مت وعند ب تساوي ٠.٧٦٤ متر. ثم وضع الميزان قريبا من نقطة ب فكانت قراءة القامة عند أ ١.٨٢٤ متر وعند ب ١.١١٢. أوجد منسوب نقطة ب إذا علمت أن منسوب أ يبلغ ١٢.٤٣٦ مترا.

فرق المنسوب من الوضع الأول = ١.٤٨٣ – ٠.٧٦٤ = ٠.٧١٩ متر

فرق المنسوب من الوضع الثاني = ١.٨٢٤ – ١.١١٢ = ٠.٧١٢ متر

فرق المنسوب المتوسط = (٠.٧١٩ + ٠.٧١٢) / ٢ = ٠.٧١٥٥ متر

منسوب نقطة ب = منسوب أ + فرق المنسوب المتوسط
= ١٢.٤٣٦ + ٠.٧١٥٥ = ١٣.١٥١٥ متر

٦-٨ الميزانية الدقيقة:

الميزانية الدقيقة Precise Levelling هي ميزانية طولية عادية إلا أنها تهدف للوصول لدقة عالية في قياس فروق المناسيب بين نقطتين مما يجعل لها مواصفات خاصة في الأجهزة المستخدمة و أسلوب العمل الحقلي وخطوات الحساب. تستخدم الميزانية الدقيقة في إنشاء علامات روبير BM جديدة لتكون أساسا لتنفيذ أعمال الميزانية في منطقة المشروع ، كما تستخدم أيضا في مراقبة وقياس هبوط المنشئات الهندسية الضخمة مثل السدود و القناطر.

يسمي جهاز الميزان المستخدم في الميزانية الدقيقة بالميزان الدقيق Precise Level وهو ميزان لا يختلف في شكله أو تصميمه عن الميزان البصري العادي إلا أنه يختلف عنه في النقاط الجوهرية التالية:

- المنظار ذو قوة تكبير عالية (لا تقل عن ٤٠ ضعف) كما يكون قطر العدسة الشيئية كبيرا وكذلك البعد البؤري للعدسة وكل ذلك بغرض أن تكون صورة القامة واضحة جدا حتى من مسافات بعيدة.
- أقل وحدة قياس لا تزيد عن ٠.١ ملليمتر و دقة القياس لا تزيد عن ٠.٢ ملليمتر/كيلومتر.
- لا يكون المنظار مثبتا في المحور الرأسي بل يكون قابل للحركة بدرجة معينة بحيث يتم تحريك المنظار لأعلي أو لأسفل بدرجة بسيطة (من خلال مسمار التطبيق) لضمان أفقية الميزان بدقة ، أي أنه يسمح بإمالة خط النظر دون تغيير منسوب هذا الخط.
- يزود الميزان الدقيق بميكرومتر داخلي ذو لوح متوازي Micrometer with parallel plate وهو جهاز يسمح بقراءة القياس علي القامة بدقة ١ ملليمتر أو أقل.
- المنظار مزود بشعرات الاستاديا لإمكانية حساب المسافات بين الميزان و القامة.
- ميزان التسوية يحتوي فقاعة مائية طويلة (وليست دائرية) ومن نوع لا يتغير طولها باختلاف درجات الحرارة ، وأن يكون ذو حساسية عالية.
- تكون معظم الموازين الدقيقة من النوع ذاتي الضبط Self-Levelling.



شكل (٦-٢٦) ميزان دقيق

أما ملحقات الميزان الدقيق فلها أيضا بعض المواصفات الخاصة:

- تكون القامة المستخدمة في الميزانية الدقيقة من نوع خاص و غالبا فأن تدريج القامة لا يحفر علي خشب القامة لكن علي شريط من مادة الأنفار (تسمي قامة أنفار) التي تتميز بمعامل تمدد قليل جدا ثم يثبت هذا الشريط تماما من طرفيه علي القامة الخشبية ذاتها.
- تستخدم قاعدة معدنية ثقيلة توضع أسفل القامة – خاصة في الأرض الرخوة أو الترابية- بحيث لا تتعرض القامة ذاتها للهبوط أثناء دورانها بعد أخذ القراءة الأمامية عليها استعدادا لأخذ قراءتها الأمامية.
- يتميز الحامل الثلاثي (الخشبي) للجهاز بالثبات.
- تستخدم مظلة شمسية أثناء الرصد لتمنع أشعة الشمس من الوقوع علي الميزان الدقيق في الحقل.

للحصول علي دقة عالية في الميزانية الدقيقة فأن عملية الرصد لا بد أن تراعي الاشتراطات التالية:

- يتم رصد كل خط مرتين ذهابا وإيابا ويكون كلا منهما مستقلا عن الآخر.
- تكون المسافة بين الميزان و كلتا القامتين الخلفية و الأمامية متساوية بقدر الإمكان.
- العمل بقامتين علي الأقل وليس بقامة واحدة.
- تفادي أن يكون خط النظر قريبا من سطح الأرض بقدر الإمكان حتى لا يتأثر بالانكسار الضوئي القريب من سطح الأرض.
- سرعة أخذ القراءات (علي القامتين الخلفية و الأمامية) بحيث لا تزيد عن فترة دقائق معدودة حتى لا تتغير ظروف الطقس كثيرا بين كلتا القراءتين.

- في كل رصدة (كل قراءة قامة) يتم تسجيل قراءة الشعرات الثلاثة ثم نحسب الفرق بين قراءة الشعرة العليا والشعرة الوسطي وكذلك الفرق بين قراءة الشعرة الوسطي و الشعرة السفلي ونقارن كلا الفرقين ويجب أن يكونا بنفس القيمة.
- في كل وقفة نحسب المسافة بين الميزان و القامة الخلفية وبين الميزان و القامة الأمامية لضمان أن الميزان بقدر الإمكان يكون في منتصف المسافة بين القامتين ، ويجب ألا يزيد الفرق بين مسافة الميزان وكلتا القامتين عن خمسة أمتار.
- لحساب تأثير عوامل المناخ علي أرصاد الميزانية الدقيقة يتم استخدام أجهزة قياس درجة الحرارة و الضغط الجوي عند كل نقطة ميزان.
- في نهاية خط الميزانية الدقيقة نحسب مجموع مسافات أرصاد المقدمة (القراءات الأمامية) و مجموع مسافات أرصاد المؤخرة (القراءات الخلفية) ويجب ألا يزيد الفرق بين هذين المجموعين عن ٢٠ مترا.
- يجب أن يظلل الميزان الدقيق أثناء العمل الحقلي بمظلة شمسية حتى لا يتأثر الجهاز أو ميزان التسوية به بأشعة الشمس. ولا يترك الميزان أبدا في الشمس حتى أثناء عدم العمل به.
- عادة تكون المسافة بين الميزان وأيا من القامتين (الخلفية و الأمامية) في حدود ٣٠-٤٠ مترا وفي كل الأحوال يجب ألا تزيد عن ١٠٠ متر.
- بعض القامات يكون لها تدريجين وعند استخدام هذا النوع من القامات يجب قراءة و تسجيل كلا التدريجين في كل نقطة ميزان.
- عادة تتم أعمال الميزانية الدقيقة في الصباح الباكر وفترة ما قبل الغروب علي أن نتحاشى تماما الرصد في فترة الظهيرة (قبل وبعد الظهر بساعتين علي الأقل) ضمانا لتقليل تأثير الانكسار الجوي.

لضمان دقة الميزان الدقيق و القامة المستخدمة في الميزانية الدقيقة فيجب معايرتهم (الضبط الدائم في المصنع) بصفة دورية لا تزيد عن مرة في السنة.

٦-٩ الميزانية المثلثية:

يعتمد هذا النوع من الميزانية علي قياس زاوية الارتفاع (أو الانخفاض) عن المستوي الأفقي بين نقطتين لحساب فرق المنسوب بينهما (أرجع للشكل ٢-١٧). حيث أن الميزانية المثلثية هي ناتج حسابي لقياس زوايا فأن جهاز المستخدم فيها هو جهاز الثيودليت (أو جهاز المحطة الشاملة) وليس جهاز الميزان ، وسنتناولها بالتفصيل في الفصل القادم.

الفصل السابع

الرفع المساحي التاكيومتري

كلمة "التاكيومتري" معناها القياس السريع ، والمساحة التاكيومترية هي المساحة التي لا تعتمد علي القياس المباشر للكميات المطلوبة ، أو بمعني آخر فهي حساب - ولبس قياس - المسافات و فروق الارتفاع ، أي بصورة غير مباشرة. تتميز المساحة التاكيومترية بسهولة وسرعة تنفيذ العمل الحقلي مقارنة بالطرق المساحية الأخرى (مثل قياس المسافات بالشريط أو قياس فروق المناسيب بالميزانية) ، إلا أن دقة المساحة التاكيومترية ليست عالية جدا ولذلك فهي لا تستخدم في الأعمال المساحية والهندسية التي تتطلب دقة عالية.

٧-١ نظرية و استخدامات المساحة التاكيومترية:

تعتمد المساحة التاكيومترية علي حساب المسافات الأفقية و الرأسية بين النقاط من خلال قياس الزاوية الرأسية عند موقع الجهاز و المسافة المقطوعة علي الهدف (غالبا قامة) وذلك من خلال ثلاثة شعرات أفقية مركبين داخل حامل شعرات جهاز الثيودليت. الأساس الرياضي للمساحة التاكيومترية هو تكوين مثلثات في المستوي الرأسي يمكن منها حساب المسافة الأفقية وفرق الارتفاع بين نقطتين. تجدر الإشارة إلي أن قياس (أو رصد) الزوايا الرأسية لمسافات طويلة يجعل خط النظر يتأثر بالانكسار الجوي الناتج عن التأثيرات المناخية وبالتالي فأن استخدام هذه الزوايا الرأسية في حسابات المثلث الرأسي لن يكون بدقة عالية ، وهذا أهم عيوب المساحة التاكيومترية. حيث أن كل أجهزة الثيودليت البصري الحديثة مجهزة بهذه الشعرات فأن أي جهاز ثيودليت يصلح لاستخدامه في الرفع المساحي التاكيومتري.

تستخدم المساحة التاكيومترية في عدد من المشروعات الهندسية مثل:

- عمل خرائط كنتورية في الأراضي شديدة الوعورة حيث سيكون استخدام الميزانية صعب جدا و مكلف جدا.
- الرفع المساحي للمناطق المتسعة والتي لا تتطلب دقة عالية.
- التوقيع المبدئي للأعمال الهندسية (مثل الطرق والسكك الحديدية) في الطبيعة.
- حساب أطوال المضلعات (الترافرسات) كبديل عن استخدام الشريط في قياسها.
- تعيين معدلات انحدار المشروعات الطولية (مثل الطرق والمجاري المائية) الممتدة لمسافات طويلة.

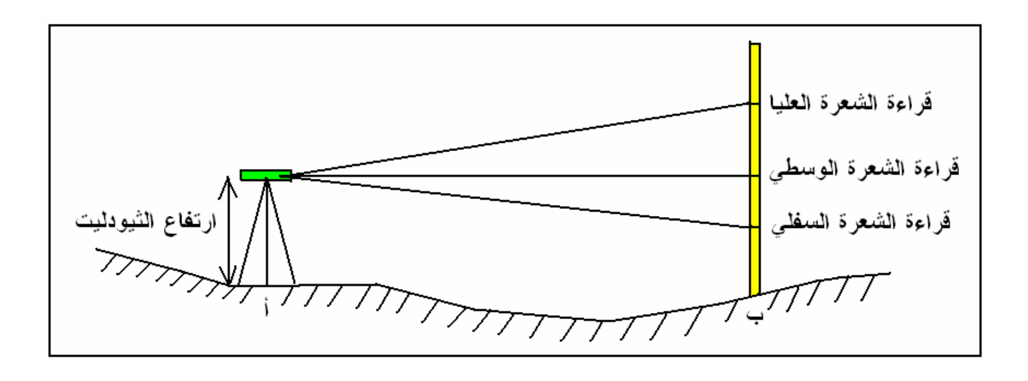
توجد عدة طرق مستخدمة في المساحة التاكيومترية مثل طريقة شعرات الاستاديا و طريقة الظلال ، كما توجد عدة أجهزة مستخدمة في المساحة التاكيومترية (مثل الثيودليت و قضيب الأنفار و منشور المسافة) إلا أننا سنقدم هنا فقط استخدام جهاز الثيودليت في هذا النوع من أنواع المساحة.

٧-٢ طريقة شعرات الاستاديا:

هي أسهل و أسرع الطرق التاكيومترية للحصول علي المسافة الأفقية وفرق المنسوب بين نقطتين. يوضع جهاز الثيودليت عند أحد طرفي الخط بينما توضع قامة عند النقطة الأخرى ويقوم جهاز الثيودليت بقراءة و تسجيل الشعرات الثلاثة علي القامة (أرجع للشكل ٦-١٤). ولحساب المسافة الأفقية وفرق المنسوب بين طرفي الخط توجد حالتين:

حالة النظرة الأفقية:

فيها يكون المحور الأفقي للثيودليت في وضعه الأفقي تماما ، أي لا توجد زاوية ارتفاع أو انخفاض.



شكل (٧-١) شعرات الاستاديا في الوضع الأفقي

المسافة الأفقية = الفرق بين قراءتي شعرتي الاستاديا (العليا و السفلي) × الثابت التاكيومتري + الثابت الإضافي للجهاز (٧-١)

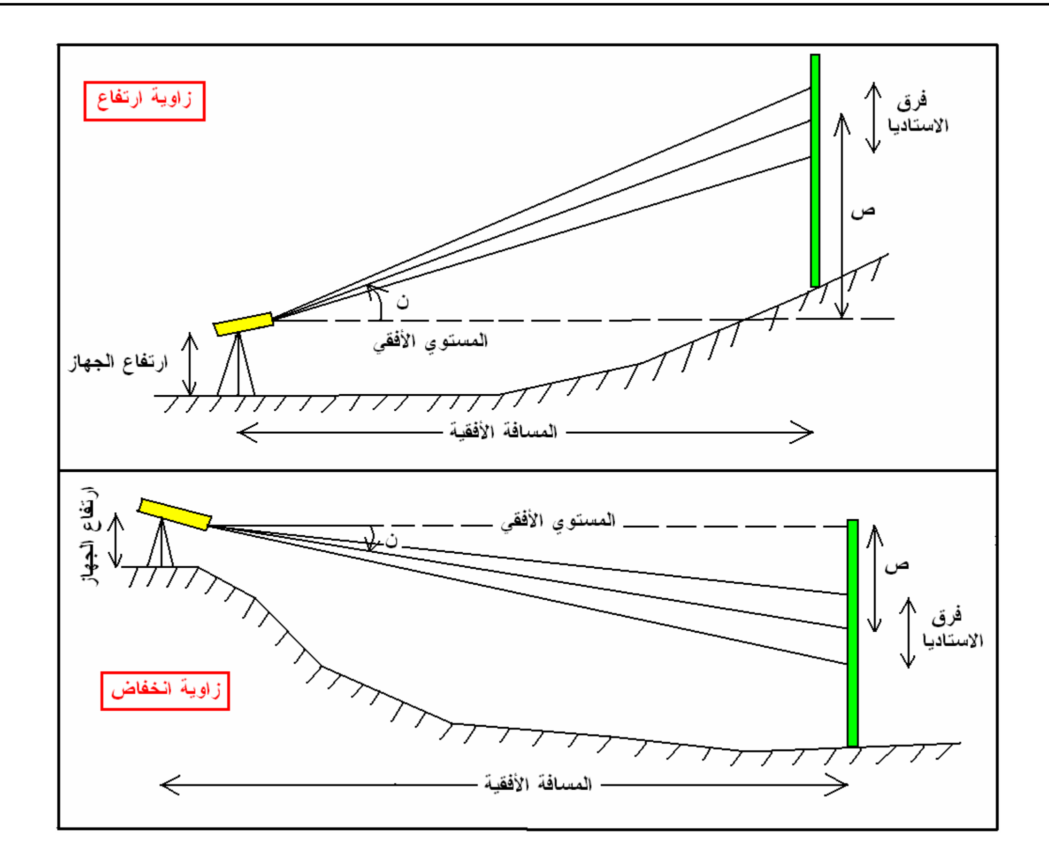
منسوب نقطة القامة = منسوب نقطة الثيودليت + ارتفاع الثيودليت – قراءة الشعرة الوسطي (٧-٢)

حيث:
الثابت التاكيومتري والثابت الإضافي للثيودليت هما قيمتين محددتان في كتالوج الجهاز ذاتها وان كانت أغلب أجهزة الثيودليت لها ثابت تاكيومتري = ١٠٠ و ثابت إضافي = صفر (لكن يجب التأكد من هذه القيم لكل ثيودليت قبل استخدامه).

إذا تم استخدام جهاز ميزان (مجهز بشعرات الاستاديا) في هذا القياس التاكيومتري فهذا ما يطلق عليه أسم "الميزانية المثلثية".

حالة النظرة المائلة:

فيها لا يكون المحور الأفقي للثيودليت في وضعه الأفقي ، أي توجد زاوية ارتفاع أو انخفاض.



شكل (٧-٢) شعرات الاستاديا في الوضع المائل

المسافة الأفقية = الفرق بين قراءتي شعرتي الاستاديا (العليا و السفلي) × الثابت التاكيومتري × جتا^{2} ن + (الثابت الإضافي للجهاز × جتا ن) (٧-٣)

منسوب نقطة القامة في حالة زاوية الارتفاع = منسوب نقطة الثيودليت + ارتفاع الثيودليت – قراءة الشعرة الوسطي + ص (٧-٤)

منسوب نقطة القامة في حالة زاوية الانخفاض = منسوب نقطة الثيودليت + ارتفاع الثيودليت - قراءة الشعرة الوسطي - ص (٧-٤)

حيث:

ص = ٠.٥ فرق استاديا + جا ٢ ن + الثابت التاكيومتري × جا ن (٧-٥)

حيث:

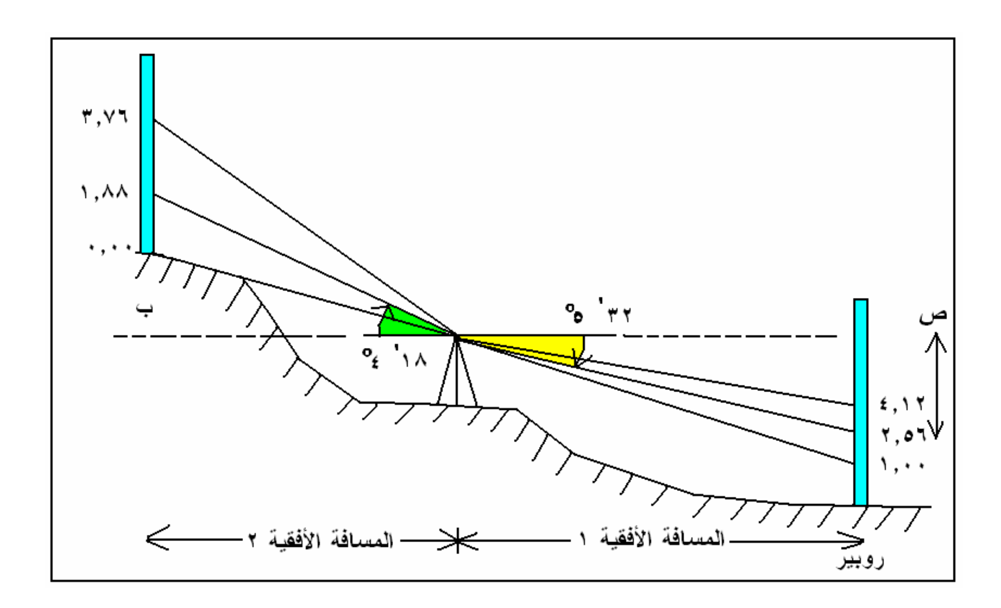
فرق استاديا = قراءة الشعرة العليل – قراءة الشعرة السفلي
ن = الزاوية الرأسية (ارتفاع أو انخفاض).

كما يمكن حساب فرق المنسوب – بعد حساب المسافة الأفقية - كالآتي:

فرق المنسوب بين النقطتين = المسافة الأفقية × ظا الزاوية الرأسية (٧-٦)

<u>مثال:</u>

رصدت قامة موضوعة فوق روبير BM يبلغ منسوبه ٨٠.٠٠ متر فكانت قراءات الشعرات علي التوالي: ١.٠٠ ، ٢.٥٦ ، ٤.١٢ متر وبلغت زاوية الانخفاض ٣٢' ٥° ، ثم نقلت القامة إلي نقطة ب فكانت قراءات الشعرات صفر ، ١.٨٨ ، ٣.٧٦ متر وبلغت زاوية الارتفاع ١٨' ٤°. أحسب المسافة الأفقية بين الجهاز و نقطة ب وكذلك منسوب ب إذا علمت أن الثابت التاكيومتري للجهاز يساوي ١٠٠ والثابت الإضافي له يساوي ٣٠ سنتيمتر.



شكل (٧-٣) مثال لطريقة شعرات الاستاديا في الوضع المائل

<u>عند الرصد علي نقطة الروبير:</u>

ص = ٠.٥ فرق استاديا + جا ٢ ن + (الثابت التاكيومتري × جا ن)
= ٠.٥ (٤.١٢ – ١.٠٠) جا ٢× ٣٢' ٥° + (٠.٣٠ × جا ٣٢' ٥°)
= ٠.٥ (٣.١٢) جا ٠٤' ١١° + (٠.٣ × جا ٣٢' ٥°)
= ٢٩.٩٤ + ٠.٠٢٩ = ٢٩.٩٧ متر

منسوب سطح الجهاز = منسوب الروبير + قراءة الشعرة الوسطي + ص
= ٨٠.٠٠ + ٢.٥٦ + ٢٩.٩٧
= ١١٢.٥٣ متر

المسافة الأفقية = الفرق بين قراءتي شعرتي الاستاديا × الثابت التاكيومتري × جتا^{٢} ن
+ (الثابت الإضافي للجهاز × جتا ن)
= (٣.٧٦ – صفر) × ١٠٠ × جتا^{٢} ٣٢' ٥°) + (٠.٣ × جتا ٣٢' ٥°)
= ٣٧٣.٨٩ + ٠.٢٩٩ = ٣٧٤.١٩ متر

عند الرصد علي نقطة ب:

فرق المنسوب بين النقطتين = المسافة الأفقية × ظا الزاوية الرأسية
= ٣٧٤.١٩ × ظا ٤° ١٨'
= ٢٨.١٣٥ متر

منسوب ب = منسوب سطح الجهاز + فرق المنسوب – قراءة الشعرة الوسطي
= ١١٢.٥٣ + ٢٨.١٣٥ – ١.٨٨
= ١٣٨.٧٨٥ متر

٧-٣ طريقة الظلال:

طريقة مساحة تاكيومترية للحصول علي المسافة الأفقية وفرق المنسوب بين نقطتين باستخدام ثيودليت عادي (لا يوجد به شعرات الاستاديا). يوضع جهاز الثيودليت عند أحد طرفي الخط بينما توضع قامة عند النقطة الأخرى ويقوم جهاز الثيودليت بقراءة و تسجيل الشعرة الوسطي علي القامة مرتين مختلفتين (أي زاويتين رأسيتين مختلفتين). تعد طريقة الظلال أقل دقة من طريقة شعرات الاستاديا لكنها تناسب حالة عدم معرفتنا قيم الثابت التاكيومتري و الإضافي للجهاز المستخدم. ولحساب المسافة الأفقية وفرق المنسوب بين طرفي الخط توجد حالتين:

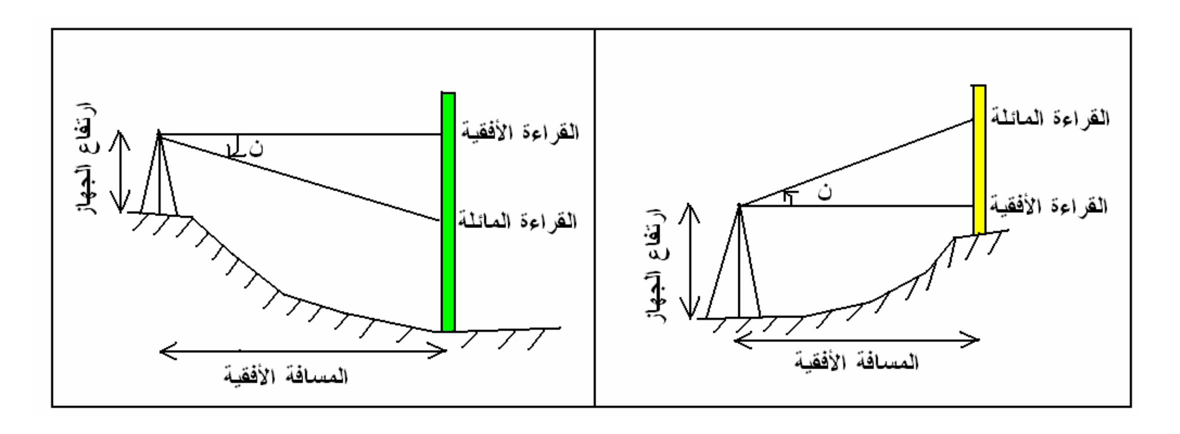
حالة إمكانية أخذ نظرة أفقية:

إذا سمحت طبيعة الأرض أن نأخذ قراءة الشعرة الوسطي في وضع الثيودليت أفقيا تماما بينما النظرة الثانية عندما يكون الثيودليت مائلا (سواء لأعلي أو لأسفل):

المسافة الأفقية = (القراءة الأفقية – القراءة المائلة) / ظا ن (٧-٧)

منسوب نقطة القامة = منسوب نقطة الجهاز + ارتفاع الجهاز - القراءة المائلة (٧-٨)

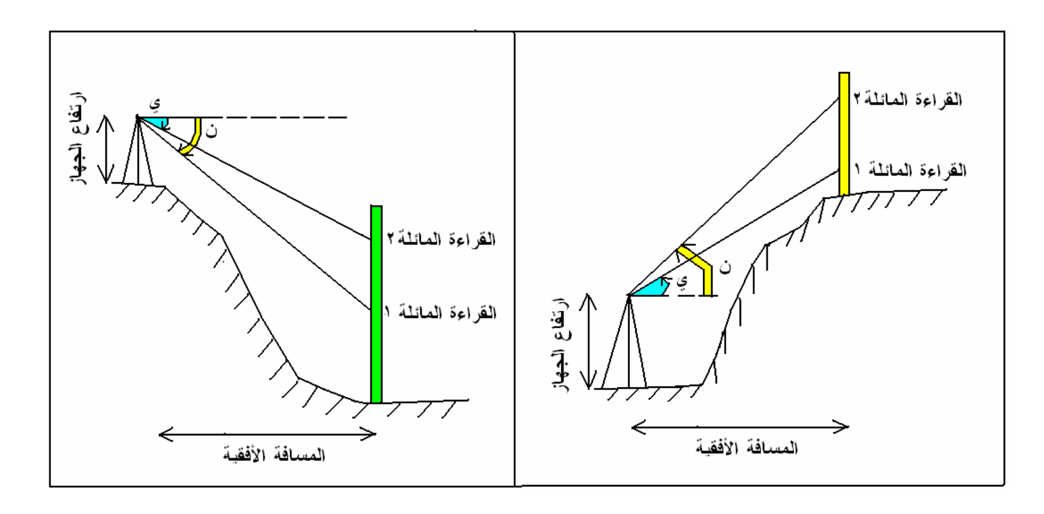
حيث:
ن = الزاوية الرأسية في الحالة المائلة.



شكل (٧-٤) طريقة الظلال في حالة أحد الوضعين يكون أفقيا

حالة عدم إمكانية أخذ نظرة أفقية:

إذا لم تسمح طبيعة الأرض بأخذ قراءة الشعرة الوسطي في وضع الثيودليت أفقيا تماما ، أي أن كلا النظرتين سيتمان و الثيودليت مائلا (أي زاويتين رأسيتين):



شكل (٧-٥) طريقة الظلال في حالة كلا الوضعين مائلين

المسافة الأفقية = (القراءة المائلة ٢ – القراءة المائلة ١) / (ظا ن – ظا ي) (٧-٩)

في حالة زاويتين ارتفاع:

منسوب نقطة القامة = منسوب نقطة الجهاز + ارتفاع الجهاز +
(المسافة الأفقية × ظا ن) - القراءة المائلة الأولي (٧-١٠)

وللتحقيق فأن:

منسوب نقطة القامة = منسوب نقطة الجهاز + ارتفاع الجهاز +
(المسافة الأفقية × ظا ي) - القراءة المائلة الثانية (٧-١١)

في حالة زاويتين انخفاض:

منسوب نقطة القامة = منسوب نقطة الجهاز + ارتفاع الجهاز -
(المسافة الأفقية × ظا ن) - القراءة المائلة الأولي (٧-١٢)

وللتحقيق فأن:

منسوب نقطة القامة = منسوب نقطة الجهاز + ارتفاع الجهاز -
(المسافة الأفقية × ظا ي) - القراءة المائلة الثانية (٧-١٣)

حيث:
ن = الزاوية الرأسية الأولي (الأكبر)
ي = الزاوية الرأسية الثانية (الأصغر).

مثال:

وضعت قامة علي نقطة ب وتم رصدها بثيودليت موجود عند ج فكانت زاويتي الارتفاع هما ٢° ١٤' و ظا ٥° ٣٦' عندما كانت قراءتي القامة ٠.٢٠ ، ١.٢٠ علي الترتيب. ما هي المسافة الأفقية ب ج و ما منسوب نقطة ب إذا كان منسوب ج يساوي ١٣٧.١٤ مترا وكان ارتفاع الجهاز يساوي ١.٥٠ مترا؟

المسافة الأفقية = (القراءة المائلة ٢ – القراءة المائلة ١) / (ظا ن – ظا ي)
= (١.٢٠ – ٠.٢٠) / (ظا ٥° ٣٦' – ظا ٢° ١٤')
= ١٦.٩٣ متر

منسوب نقطة القامة = منسوب نقطة الجهاز + ارتفاع الجهاز +
(المسافة الأفقية × ظا ن) - القراءة المائلة الأولي
= ١٣٧.١٤ + ١.٥٠ + (١٦.٩٣ × ظا ٢° ١٤') – ٠.٣٠
= ١٣٩.١٠ متر.

وللتحقيق فأن:

منسوب نقطة القامة = منسوب نقطة الجهاز + ارتفاع الجهاز +
(المسافة الأفقية × ظا ي) - القراءة المائلة الثانية
= ١٣٧.١٤ + ١.٥٠ + (١٦.٩٣ × ظا ٥° ٣٦')– ١.٢٠
= ١٣٩.١٠ متر.

٧-٤ تعيين قيم لا يمكن رصدها:

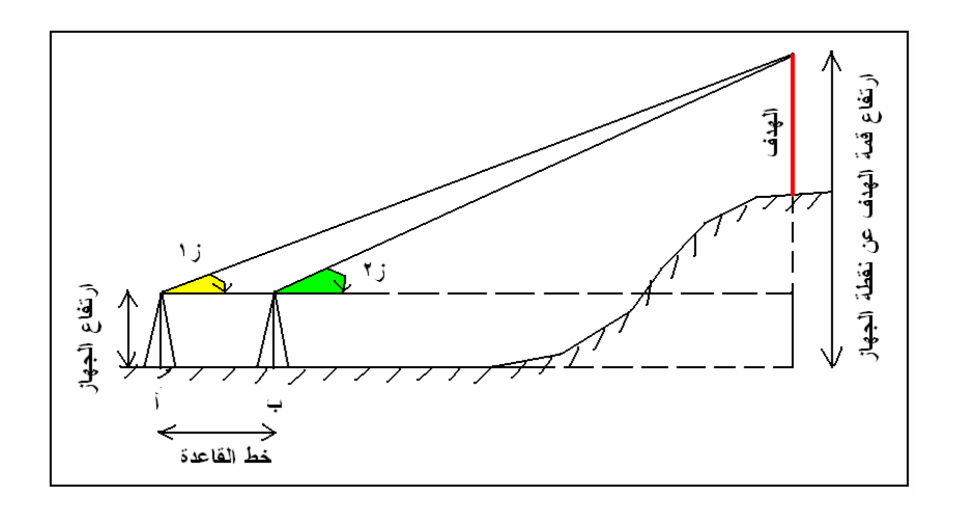
في بعض التطبيقات المساحية بجهاز الثيودليت يواجه الراصد حالات المطلوب فيها تعيين بعض القيم التي لا يمكن رصدها أو قياسها مباشرة في الطبيعة ، وهنا يمكن حسابها من أرصاد أخري.

٧-٤-١ تعيين ارتفاع هدف لا يمكن الوصول إليه:

نختار خط قاعدة ونقيس طوله بدقة عالية ونرصد أيضا الزاويتين من كلتا نقطتي هذا الخط إلي قمة الهدف المطلوب:

حالة (١) خط القاعدة أفقي والهدف يقع علي امتداده:

ارتفاع قمة الهدف عن نقطة الجهاز = [طول خط القاعدة / (ظتا ز١ – ظتا ز٢)]
+ ارتفاع الجهاز (٧-١٤)

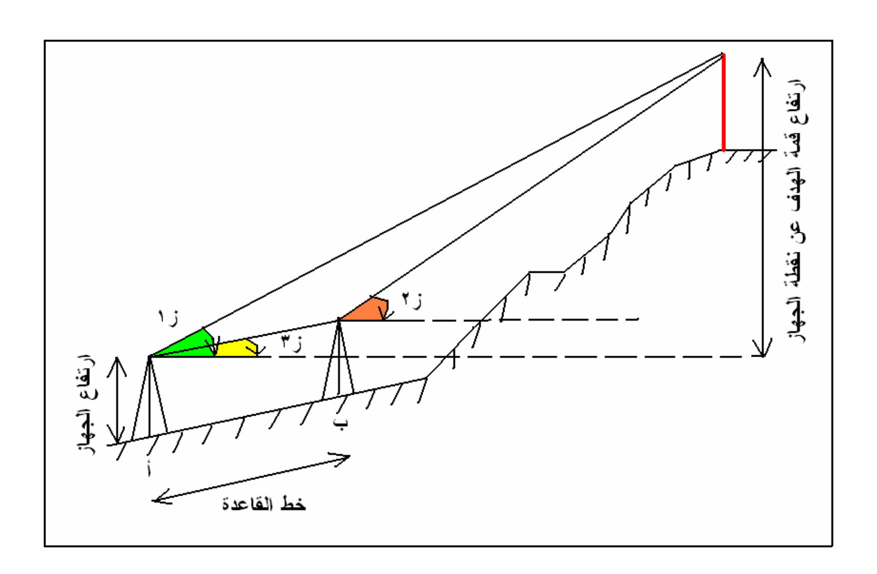


شكل (٧-٦) حساب ارتفاع هدف لا يمكن رصده (أرض أفقية)

ويمكن استخدام نفس المعادلة مع رصد نقطة قاع الهدف (وليس قمته) لنحسب ارتفاع قاع الهدف عن نقطة الجهاز ، ثم نستطيع حساب ارتفاع الهدف ذاته بطرح ناتج كلتا المحاولتين.

<u>حالة (٢) خط القاعدة مائل والهدف يقع علي امتداده:</u>

نختار خط قاعدة ونقيس طوله المائل بدقة عالية ونرصد:
عند نقطة أ: زاوية الهدف = ز١ ، زاوية النقطة الثانية لخط القاعدة = ز٣
عند نقطة ب: زاوية الهدف = ز٢

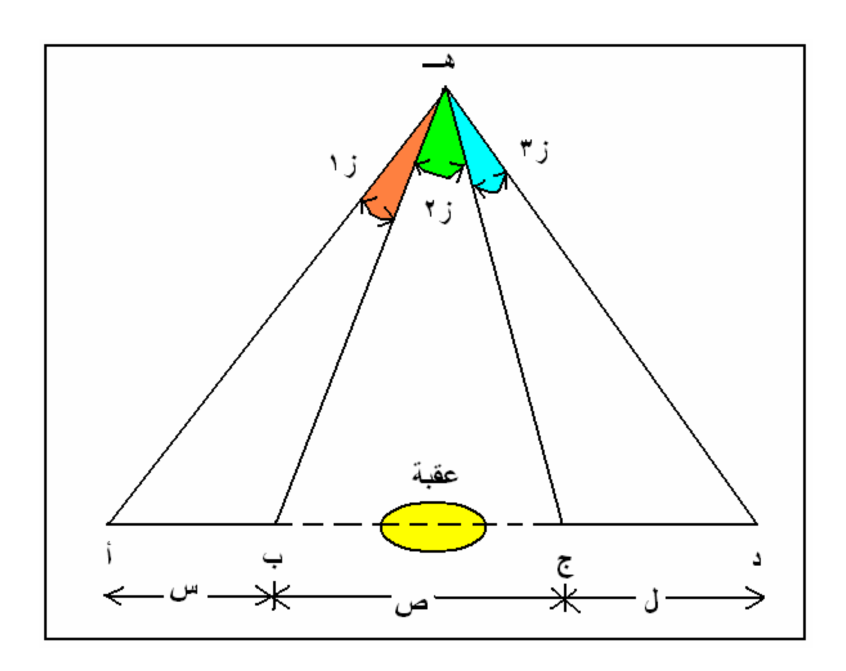


شكل (٧-٧) حساب ارتفاع هدف لا يمكن رصده (أرض مائلة)

ارتفاع قمة الهدف عن نقطة الجهاز =
طول خط القاعدة × جا (ز٢ – ز٣) × قتا (ز٢-ز١)) × جا (ز١)
\+ ارتفاع الجهاز		(٧-١٥)

٧-٤-٢ تعيين مسافة لا يمكن الوصول إليها:

في حالة وجود خط يمكن قياس بعض أجزاؤه مباشرة لكن يوجد جزء منه لا يمكن قياسه (لوجود عائق به)، نضع الثيودليت عن نقطة ويتم قياس الزوايا الأفقية الثلاثة ثم يتم حساب طول الجزء الناقص كالتالي:



شكل (٧-٨) حساب جزء من خط لا يمكن قياسه مباشرة

$$\text{ص} = -\frac{\text{س}+\text{ل}}{٢} + \sqrt{\left(\frac{\text{س}+\text{ل}}{٢}\right)^{٢} + \text{س ل}\left(١ - \frac{\text{جا (ز١+ز٢) جا (ز٣+ز٢)}}{\text{جا ز١ جا ز٣}}\right)} \qquad (٧-١٦)$$

وأيضا:

$$\text{ص} = -\frac{\text{س}+\text{ل}}{٢} + \sqrt{\left(\frac{\text{س}+\text{ل}}{٢}\right)^{٢} + \text{س ل}\left(١ - \frac{\text{جا (ز١+ز٢) جا (ز٣+ز٢)}}{\text{جا ز١ جا ز٣}}\right)} \qquad (٧-١٧)$$

<u>مثال:</u>

عند قياس خط قاعدة أ ب أعترض القياس عقبة. وللتغلب عليها اختيرت نقطتان ب ، ج علي الخط أ د ثم أخذت أرصاد إليهما من نقطة هـ كما يلي:

- الزاوية أ هـ ب = ٢٠" ١٨' ٢٠°
- الزاوية ب هـ ج = ٤٠" ١٩' ٤٥°
- الزاوية ج هـ د = ٢٠" ٢٤' ٣٣°
- طول أب = ٥٢٧.٤٣ متر ، طول ج د = ٦٨٥.٢٩ متر

أحسب طول الخط أ د.

ز١ = ٢٠" ١٨' ٢٠°
ز٢ = ٤٠" ١٩' ٤٥°
ز٢ = ٢٠" ٢٤' ٣٣°
س = ٥٢٧.٤٣ متر
ص = ٦٨٥.٢٩ متر

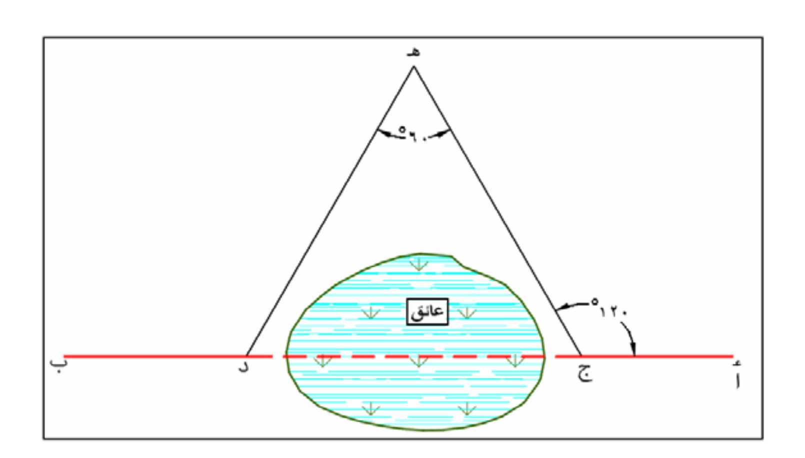
<u>إذن:</u>
ز١ + ز٢ = ٠٠" ٣٨' ٦٥°
ز٣ + ز٢ = ٠٠" ٤٤' ٧٨°
(س+ل)/٢ = ٦٠٦.٣٦ متر
(س-ل)/٢ = ٧٨.٩٣ متر

ص = - ٦٠٦.٣٦ + جذر [$(٧٨.٩٣)^{٢}$ + (٥٢٧.٤٣ × ٦٨٥.٢٩ × جا ٠٠" ٣٨' ٦٥° × جا ٠٠" ٤٤' ٧٨°) / (جا ٢٠" ١٨' ٢٠° جا ٢٠" ٢٤' ٣٣°)]
= - ٦٠٦.٣٦ + جذر (٦٢٣٠ + ١٧٩٠٠٥٧)
= -٦٠٦.٣٦ + ١٣٠٢.٤١٥ متر
= ٦٩٦.٠٥٥ متر

طول أ د = ٥٢٧.٤٣ + ٦٨٥.٢٩ + ٦٩٦.٠٥٥ = ١٩٠٨.٧٧٥ متر

<u>حل عملي بالثيودليت و الشريط:</u>

يمكن الحصول علي طول جزء الخط الذي يعترض القياس عمليا في الطبيعة (دون الحاجة للحسابات) باستخدام الثيودليت و الشريط بالاعتماد علي فكرة إنشاء مثلث متساوي الأضلاع بواسطة الخطوات العملية التالية:



شكل (٧-٩) قياس غير مباشر لجزء من خط لا يمكن قياسه مباشرة

- نقف بالثيودليت عند النقطة أ ونوجه إلي النقطة ب ثم نحدد النقطة ج علي الخط أ ب
- ننقل الثيودليت إلي النقطة ج ونوجه إلي النقطة أ ونجعل قراءة الدائرة الأفقية = صفر بالضبط

- ندير المنظار حتى تكون قراءة الدائرة الأفقية تساوي ١٢٠ درجة ، وعلي هذا الامتداد نحدد موقع مناسب للنقطة هـ (علي أن تتجاوز هذه النقطة العقبة التي تمنع القياس).
- نقيس بالشريط طول الخط ج هـ
- ننقل الثيودليت إلي النقطة هـ ونوجه إلي النقطة ج ونجعل قراءة الدائرة الأفقية تساوي صفر بالضبط ، ثم ندير المنظار حتى تكون الزاوية الأفقية تساوي ٦٠ درجة بالضبط وعلي هذا الاتجاه نقيس مسافة = طول الجزء ج هـ حتى نحدد موقع النقطة د ، ثم نقيس المسافة من د إلي ب.

الآن لدينا مثلث ج هـ د وهو مثلث متساوي الأضلاع ، أي أن طول الجزء ج د (المطلوب تحديده) = طول ج هـ = طول هـ د.

إذن الطول الكلي للخط أ ب = طول أ ج + طول ج د + طول د ب

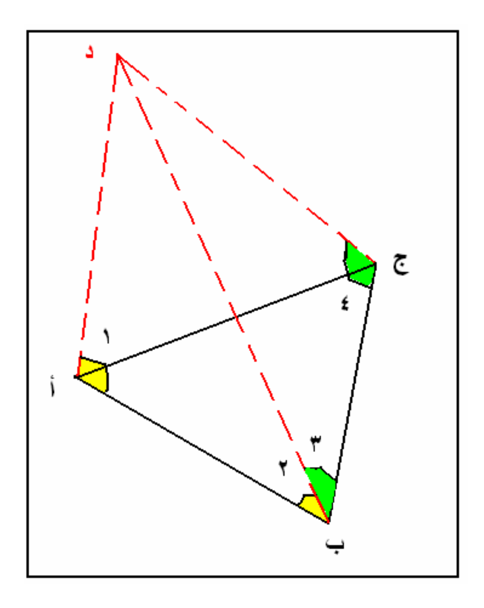
٧-٥ التقاطع الأمامي و العكسي:

عملية التقاطع – كتطبيق مساحي – يتم استخدامها للحصول علي إحداثيات نقطة جديدة بدقة عن طريق رصدها من ثلاثة نقاط معلومة الإحداثيات. في حالة التقاطع الأمامي Intersection تكون النقطة الجديدة في موقع يصعب احتلاله بالجهاز (مثل مئذنة مسجد مثلا)، بينما إن كانت طبيعة منطقة العمل تسمح باحتلال هذه النقطة الجديدة بجهاز الثيودليت فهذه الحالة تسمي التقاطع العكسي Resection. تستخدم عملية التقاطع في تكثيف شبكات الثوابت الأرضية المساحية كما أنها تستخدم في المساحة البحرية.

٧-٥-١ التقاطع الأمامي:

توجد عدة طرق تعتمد علي نوعية القياسات الحقلية ، إلا أن طريقة متوسط الإحداثيات تعد هي الأسهل. تستخدم هذه الطريقة في حالة أن النقطة الجديدة تري نقاط الثوابت المعلومة وأيضا النقاط المعلومة تري بعضها البعض ، وتكون الزوايا هي الأرصاد المساحية المطلوبة لحساب إحداثيات النقطة الجديدة.

- لتحديد إحداثيات نقطة د التي لا يمكن احتلالها فيتم رصد الزوايا إليها من ٣ نقاط معلومة هي أ ، ب ، ج (الزوايا ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤).
- يتم حساب انحراف أي خط من الخطوط بين النقاط المعلومة (أ ب) من خلال الإحداثيات المعلومة لطرفيه.
- يتم حساب انحراف خطين من نقطتين معلومتين إلي النقطة الجديدة (انحراف أ د و انحراف ب د) باستخدام الزاويتين المقاستين ١ ، ٢.
- باستخدام قانون جيب الزاوية للمثلث أ ب د يتم حساب طول الضلعين أ د ، ب د (المعلوم له الزاويتين ١ ، ٢ والضلع أ ب).
- نحسب إحداثيات نقطة د بمعلومية طول و انحراف الضلع أ د والإحداثيات المعلومة للنقطة أ.
- للتحقيق نحسب – مرة أخري - إحداثيات نقطة د بمعلومية طول و انحراف الضلع بد والإحداثيات المعلومة للنقطة ب.



شكل (٧-١٠) التقاطع الأمامي بطريقة متوسط الإحداثيات

الاحداثي السيني (الشرقي) للنقطة المطلوبة:

$\text{س}_{\text{د}}$ = $\text{س}_{\text{أ}}$ + أ د × جا (انحراف أ د) (٧-١٨)

للتحقيق:

$\text{س}_{\text{د}}$ = $\text{س}_{\text{ب}}$ + ب د × جا (انحراف ب د)

الاحداثي الصادي (الشمالي) للنقطة المطلوبة:

$\text{ص}_{\text{د}}$ = $\text{ص}_{\text{أ}}$ + أ د × جتا (انحراف أ د) (٧-١٩)

للتحقيق:

$\text{ص}_{\text{د}}$ = $\text{ص}_{\text{ب}}$ + ب د × جتا (انحراف ب د)

إما إن كان كانت الزوايا المقاسة هي تلك الزوايا المحصورة بين خطوط الربط والنقطة الجديدة فأن إحداثيات هذه النقطة يمكن حسابها (<u>بطريقة الزوايا</u>) كالتالي:

$\text{س}_{\text{د}}$ = [$\text{س}_{\text{أ}}$ × ظتا ٢ + $\text{س}_{\text{ب}}$ × ظتا ١ + ($\text{ص}_{\text{أ}}$ – $\text{ص}_{\text{ب}}$)] ÷ (ظتا ١ + ظتا ٢) (٧-٢٠)

$\text{ص}_{\text{د}}$ = [$\text{ص}_{\text{أ}}$ × ظتا ٢ + $\text{ص}_{\text{ب}}$ × ظتا ١ + ($\text{س}_{\text{أ}}$ – $\text{س}_{\text{ب}}$)] ÷ (ظتا ١ + ظتا ٢) (٧-٢١)

مثال:

كانت قياسات عملية التقاطع الأمامي كالآتي:

زاوية ٤ = ٤٣" ٢١' ١٢٢°
زاوية ١ = ٣٦" ٢٠' ١٠٥°
زاوية ٣ = ٥٠" ٣٤' ٢٩°
زاوية ٢ = ١٦" ٠١' ٣٩°

وكانت إحداثيات نقاط الربط كالتالي:

النقطة	س	ص
ب	١٣٩٥.٤٥٤	١٠٧٨.٨٠٦
أ	١٢٦٨.٨٥٥	١٠٢٨.٤١٩
ج	١٣٠٩.٦٥٢	١١٧٠.٥٠٣

أحسب إحداثيات النقطة د بطريقة الزوايا؟

من المثلث ج ب د:

س د = [١٣٠٩.٦٥٢ × ظتا ١٦" ٠١' ٣٩° + ١٣٩٥.٤٥٤ × ظتا ٥٠" ٣٤' ٢٩°
+ (١٠٧٨.٨٠٦ – ١١٧٠.٥٠٣)] ÷
(ظتا ٤٣" ٢١' ١٢٢° + ظتا ٥٠" ٣٤' ٢٩°)
= ١١٨٠.١٥١ متر

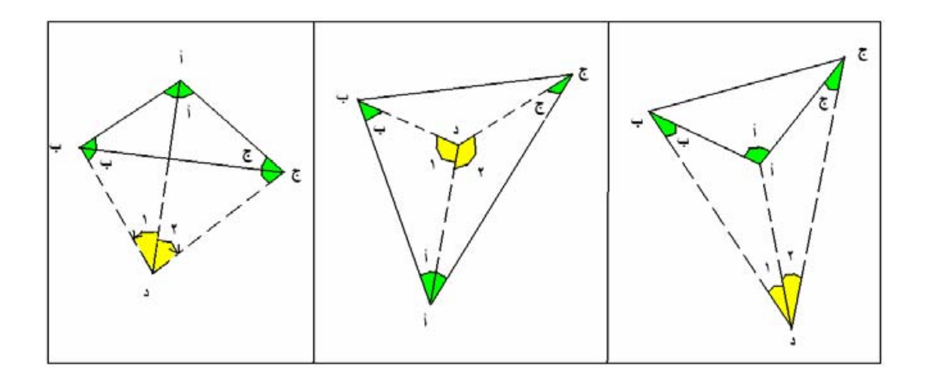
ص د = [١١٧٠.٥٠٣ × ظتا ٥٠" ٣٤' ٢٩° + ١٠٧٨.٨٠٦ × ظتا ٤٣" ٢١' ١٢٢° +
+ (١٣٠٩.٦٥٢ – ١٣٩٥.٤٥٤)] ÷
(ظتا ٤٣" ٢١' ١٢٢° + ظتا ٥٠" ٣٤' ٢٩°)
= ١١٤٥.٩٥١ متر

٧-٥-٢ التقاطع العكسي:

في عملية التقاطع العكسي يتم حساب إحداثيات نقطة جديدة من خلال احتلالها بجهاز الثيودليت وإجراء قياسات إلي ٣ نقاط ثوابت أرضية معلومة الإحداثيات. يحتاج الراصد لهذه الطريقة عندما لا يمكن احتلال نقاط الثوابت الأرضية المعلومة ذاتها.

توجد عدة طرق لحل التقاطع العكسي لكن الطريقة التالية هي طريقة هيئة المساحة الأمريكية:

يتم احتلال النقطة الجديدة د وقياس الزاويتين ١ ، ٢ (في اتجاه دوران عقرب الساعة) إلي نقاط الربط المعلومة أ ، ب ، ج.



شكل (٧-١١) التقاطع العكسي

خطوات الحل:

(١) نحسب الزاوية ر:
ر = ب + ج = ٣٦٠ – (أ + ١ + ٢)	(٧-٢٢)

(٢) نحسب الزاوية ج:
ظتا ج = ظتا ر + (أ ج جا ١ / أ ب جا ر)	(٧-٢٣)

(٣) نحسب الزاوية ب:
ب = ر – ج	(٧-٢٤)

(٤) نحسب المسافة أ د:
أ د = أ ج جا ج / جا ٢	(٧-٢٥)
أو:
أ د = أ ب جا ب / جا ١	(٧-٢٦)

(٥) نحسب الزاوية ج أ د = ١٨٠ – (١ + ٢)	(٧-٢٧)

(٦) ومنها نحسب انحراف الخط أ د

(٧) باستخدام قاعدة الجيب نحسب المسافة ج د أو ب د (أو كلاهما).

(٨) نحسب إحداثيات النقطة د باستخدام انحراف وطول ضلع الخط أ د

(٩) للتحقيق:
نحسب إحداثيات النقطة د باستخدام انحراف وطول ضلع الخط ب د أو الخط ج د.

مثال:

إحداثيات النقاط المعلومة كالتالي:

النقطة	س	ص
ب	١٠٠٠٠.٠٠	٢٠٠٠٠.٠٠
أ	١٦٦٧٢.٥٠	٢٠٠٠٠.٠٠
ج	٢٧٧٣٢.٧٦	١٤٢١٥.٢٤

زاوية ١ = ٥٣" ٠٥' ٢٠°
زاوية ٢ = ٠٨" ٠٦' ٣٥°
الضلع أ ب = ٦٦٧٢.٥
الضلع أ ج = ١٢٤٨١.٧

من إحداثيات نقاط الربط (أ ، ب ، ج) يمكن حساب انحراف خطي المثلث أ ب ، أ ج ثم حساب الزوايا الداخلية أ:

زاوية أ = ٢٢" ٢٣' ١٥٢°

(١) نحسب الزاوية ر:
ر = ب + ج = ٣٦٠ – (أ + ١ + ٢)
= ٣٦٠ – (٢٢" ٢٣' ١٥٢° + ٥٣" ٠٥' ٢٠° + ٠٨" ٠٦' ٣٥°)
= ٣٧" ٢٤' ١٥٢°

(٢) نحسب الزاوية ج:
ظتا ج = ظتا ر + (أ ج جا ١ / أ ب جا ر)
= ظتا ٣٧" ٢٤' ١٥٢° +
(١٢٤٨١.٧ جا ٥٣" ٠٥' ٢٠° / ٦٦٧٢.٥ جا ٣٧" ٢٤' ١٥٢°
= ٠.٤٩٩٩٥٦٣٨

إذن الزاوية ج = ١٣" ٢٦' ٦٣°

(٣) نحسب الزاوية ب:
ب = ر – ج
= ٣٧" ٢٤' ١٥٢° - ١٣" ٢٦' ٦٣° = ٢٤" ٥٨' ٨٨°

(٤) نحسب المسافة أ د:
أ د = أ ج جا ج / جا ٢
= ١٢٤٨١.٧ جا ١٣" ٢٦' ٦٣° / جا ٠٨" ٠٦' ٣٥° = ١٩٤١٤.٦٩٣

للتحقيق:

أ د = أ ب جا ب / جا ١
= ٦٦٧٢.٥ جا ٢٤" ٥٨' ٨٨° / جا ٥٣" ٠٥' ٢٠° = ١٩٤١٤.٦٩٣

(٥) نحسب الزاوية ج أ د = ١٨٠ – (١ + ٢)
= ١٨٠ – (٥٣" ٠٥' ٢٠°+ ٠٨" ٠٦' ٣٥°)
= ٣٩" ٢٧' ٨١°

(٦) نحسب طول الخط أ د:
أ د = أ ج جا ج أ د / جا ٢
= ١٢٤٨١.٧ جا ٣٩" ٢٧' ٨١° / جا ٠٨" ٠٦' ٣٥°
= ٢١٤٦٥.٢٨٩

(٧) نحسب انحرافات الخطوط:

الخط	الزاوية	الانحراف	ملاحظات
أ ج		٣٨" ٣٦' ١١٧°	الانحراف الأمامي أ ج
	٣٩" ٢٧' ٨١°		الزاوية ج أ د
أ د		١٧" ٠٤' ١٩٩°	الانحراف الأمامي أ د
د أ		١٧" ٠٤' ١٩°	الانحراف الخلفي د أ
	٠٨" ٠٦' ٣٥°		الزاوية ٢
د ج		٢٥" ١٠' ٥٤°	الانحراف الأمامي د ج
		٢٥" ١٠' ٢٣٤°	الانحراف الخلفي ج د
	١٣" ٢٦' ٦٣°		الزاوية ج
ج أ		٣٨" ٣٦' ٢٩٧°	تحقيق = الانحراف الخلفي للخط أ ج

(٨) نحسب إحداثيات النقطة د باستخدام انحراف وطول ضلع الخط أ د وإحداثيات النقطة المعلومة أ:

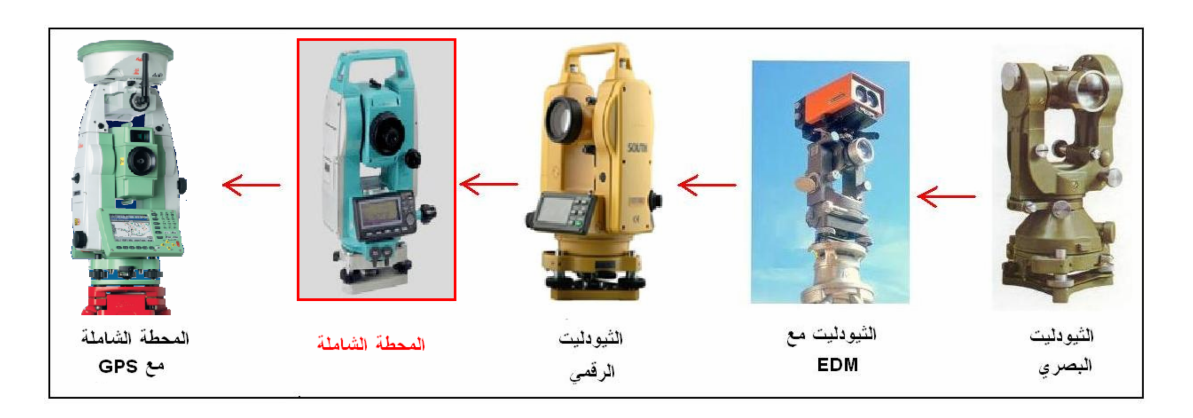
س د = ١٠٣٢٨.٨ ، ص د = ١٦٥٠.٩

الفصل الثامن

جهاز المحطة الشاملة

يعد جهاز المحطة الشاملة أو المحطة المتكاملة Total Station أكثر الأجهزة المساحية استخداما و تكاملا ودقة في الوقت الراهن. يدل اسم الجهاز علي أنه يشمل داخله عدد من الأجهزة و الإمكانيات في إطار متكامل كجهاز واحد.

كما سبق الإشارة إلي أن الأجهزة المساحية قد تطورت في النصف الثاني من القرن العشرين الميلادي بصورة سريعة فقد تم ابتكار أجهزة قياس المسافات الكترونيا EDM لتصبح بديلا دقيقا و سريعا عن الشريط في قياس المسافات ، ثم تم ابتكار أجهزة الثيودليت الرقمي أو الالكتروني التي زادت من دقة قياس الزوايا الأفقية والرأسية وتجاوزت أخطاء الراصد في تسجيل القياسات يدويا ، ثم تلا ذلك ابتكار أجهزة المحطات الشاملة.



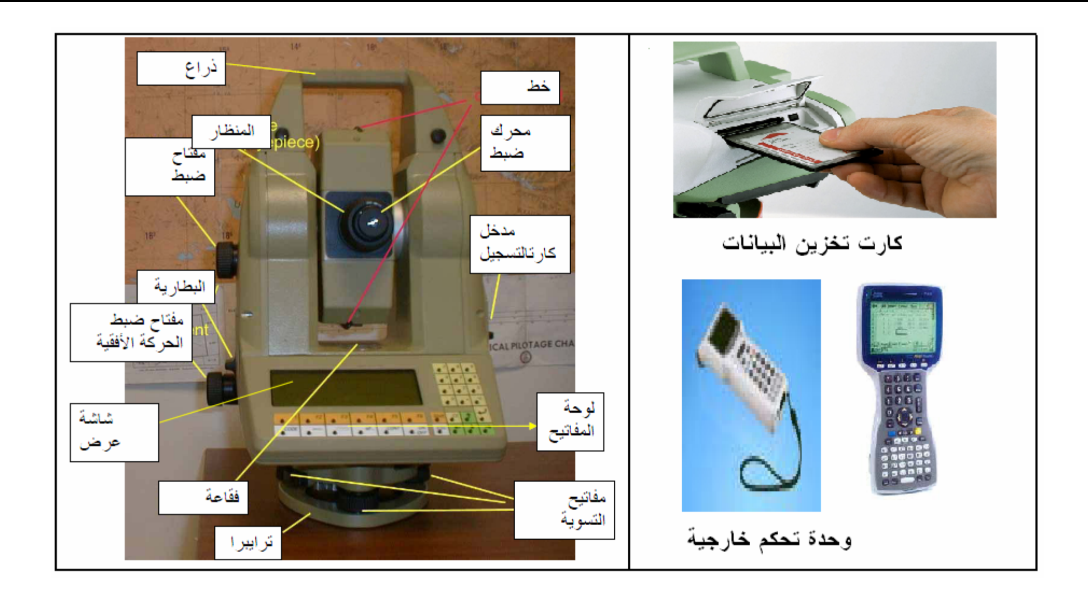
شكل (٨-١) تطور الأجهزة المساحية

حديثا تم دمج جهاز المحطة الشاملة مع جهاز النظام العالمي لتحديد المواقع بالرصد علي الأقمار الصناعية GPS لدمج تقنيتي المساحة الأرضية والمساحة الفضائية معا.

٨-١ مكونات و مميزات المحطة الشاملة:

يتكون جهاز المحطة الشاملة من مجموعة من الأجهزة (تم جمعها في إطار واحد) تشمل:

١. جهاز ثيودليت رقمي.
٢. جهاز قياس المسافات الكترونيا EDM.
٣. ذاكرة الكترونية لتسجيل القياسات.
٤. وحدة كمبيوتر micro-processor لتشغيل البرامج الحسابية.
٥. أجهزة ملحقة مثل البطارية ومجموعة العواكس والحامل الثلاثي وكابل التوصيل بالكمبيوتر.



شكل (٨-٢) مثال لجهاز المحطة الشاملة

تتميز أجهزة المحطات الشاملة بالعديد من المميزات و المواصفات مثل:

١. الدقة في قياس الزوايا الأفقية والرأسية (قد تصل إلي ثانية واحدة).
٢. الدقة في قياس المسافات (عدة ملليمترات).
٣. الرصد لمسافات كبيرة (تتعدي كيلومترات).
٤. منظار له قوة تكبير عالية لإمكانية رصد المعالم البعيدة.
٥. تسمح وحدة الكمبيوتر بأداء الحسابات في الموقع والحصول علي الإحداثيات آنيا.
٦. إمكانية قياس المسافات بدون عاكس (بالليزر) لعدة مئات من الأمتار.
٧. سرعة في قياس المسافات الكترونيا (ثانية واحدة أو أقل).
٨. التحقق من أخطاء ضبط أفقية الجهاز وتعديلها (في حالة وجود موازن Compensator بالجهاز) أو تصحيح القياسات حسابيا.
٩. البطارية تمد الجهاز بالطاقة اللازمة لعدة ساعات.
١٠. نظام تشغيل مثل النوافذ windows لسهولة العمل (بعض الأجهزة تدعم اللغة العربية).
١١. ذاكرة تخزين كبيرة لتخزين القياسات بالجهاز (ذاكرة داخلية أو كارت تخزين).
١٢. بعض الأجهزة تسمح بتوصيل وحدة تحكم خارجية control unit أو وحدة تجميع البيانات Data Collector لسهولة العمل.
١٣. سهولة نقل البيانات للكمبيوتر (من خلال كابل أو وحدة بلوتوث).
١٤. القدرة علي تحمل ظروف الطقس المختلفة في الموقع (حتى حرارة تصل ٥٠ درجة مئوية).
١٥. بعض الأجهزة بها كاميرا رقمية داخلية لتصوير مواقع الرصد كنوع من أنواع توثيق بيانات المشروع.
١٦. صغر الحجم و خفة الوزن مما يسهل التنقل بها بين المواقع المختلفة.

الجدول التالي يقدم بعض مواصفات لأمثلة للمحطات الشاملة:

	شركة Sokkia موديل Set210	شركة GeoMax موديل Zoom 30	شركة Leica موديل TPS1201
دقة قياس الزوايا	"٢	"٣	"١
قوة تكبير المنظار	X ٣٠	X ٣٠	X ٣٠
قياس المسافات (متر):			
بعاكس واحد	٢٧٠٠	٣٥٠٠	٣٠٠٠
بدون عاكس	١٢٠	٦٠٠	٤٠٠
دقة قياس المسافات:			
بالعاكس	٢ مللي ± ٢ ppm	٢ مللي ± ٢ ppm	١ مللي ± ١.٥ ppm
بدون عاكس	٣ مللي ± ٢ ppm	٣ مللي ± ٣ ppm	٢ مللي ± ٢ ppm
حجم الذاكرة	١٠ آلاف نقطة	١٠ آلاف نقطة	١٠٠ ألف نقطة
موازن	موجود	موجود	موجود
وزن الجهاز (كجم)	٥.٢	٥.١	٤.٨

٨-٢ تشغيل المحطة الشاملة:

بصفة عامة فأن جهاز المحطة الشاملة يطلب البيانات التالية كمدخلات input عند تشغيله:

- وحدة قياس الزوايا (نظام ستيني أم مئوي).
- ثابت العاكس المستخدم.
- ارتفاع الجهاز (يتم قياسه عند كل محطة).
- ارتفاع العاكس المستخدم.
- أسم المشروع.
- أسم النقطة المحتلة وإحداثياتها.
- بعض الأجهزة تسمح بإدخال كود معين لكل نقطة مرصودة (نوع النقطة إن كانت شجرة أم مبني أم طريق ...الخ) بحيث يتم جمع النقاط من كل نوع بطريقة الطبقات layers عند تصدير النتائج إلي برامج الخرائط مثل AutoCAD أو برامج نظم المعلومات الجغرافية مثل Arc GIS.

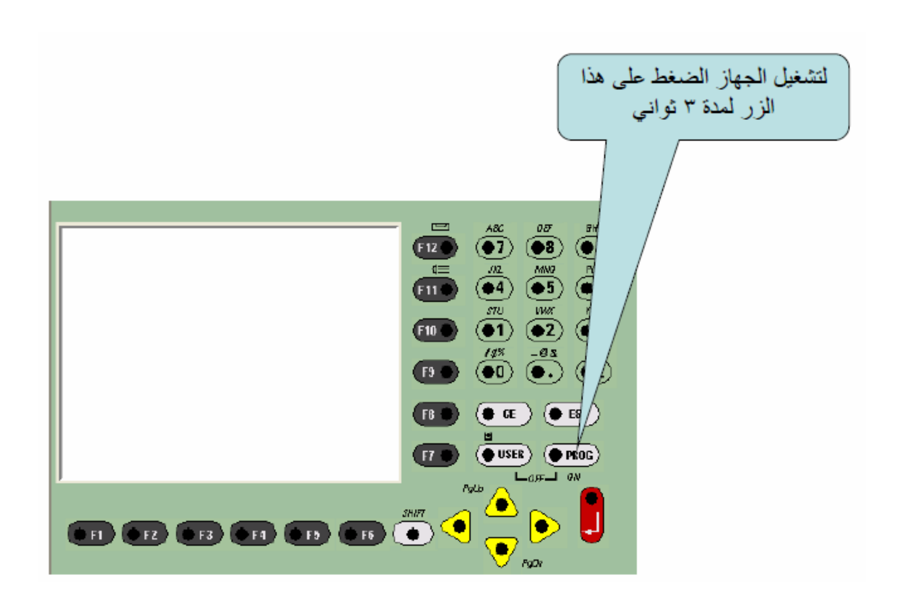
تشمل مخرجات output عملية الرصد (عامة) الآتي:

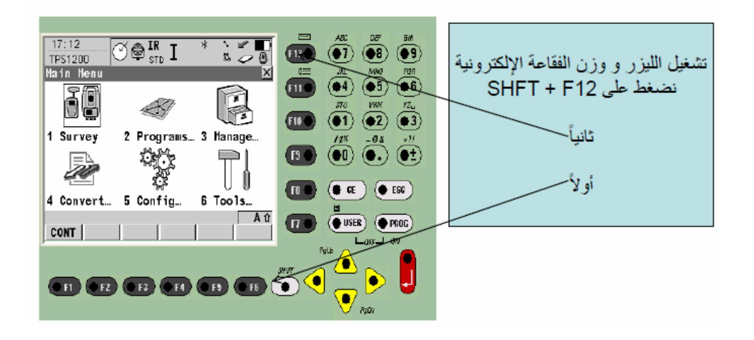
- الزوايا الأفقية والرأسية.
- المسافات المائلة المقاسة و المسافات الأفقية المحسوبة وكذلك فروث الارتفاعات.
- الانحرافات (عند البدء بخط معلوم انحرافة أو بواسطة نقطتين معلومتين الإحداثيات).
- إحداثيات النقطة المرصودة (س ، ص ، ع).
- خطأ قفل المضلع – في حالة رصده – و قيم تصحيحاته.
- نتائج التقاطع الأمامي و العكسي.
- كما تستخدم أجهزة المحطة الشاملة في توقيع الأهداف المطلوبة setting out المعلوم إحداثياتها التصميمية مسبقا.

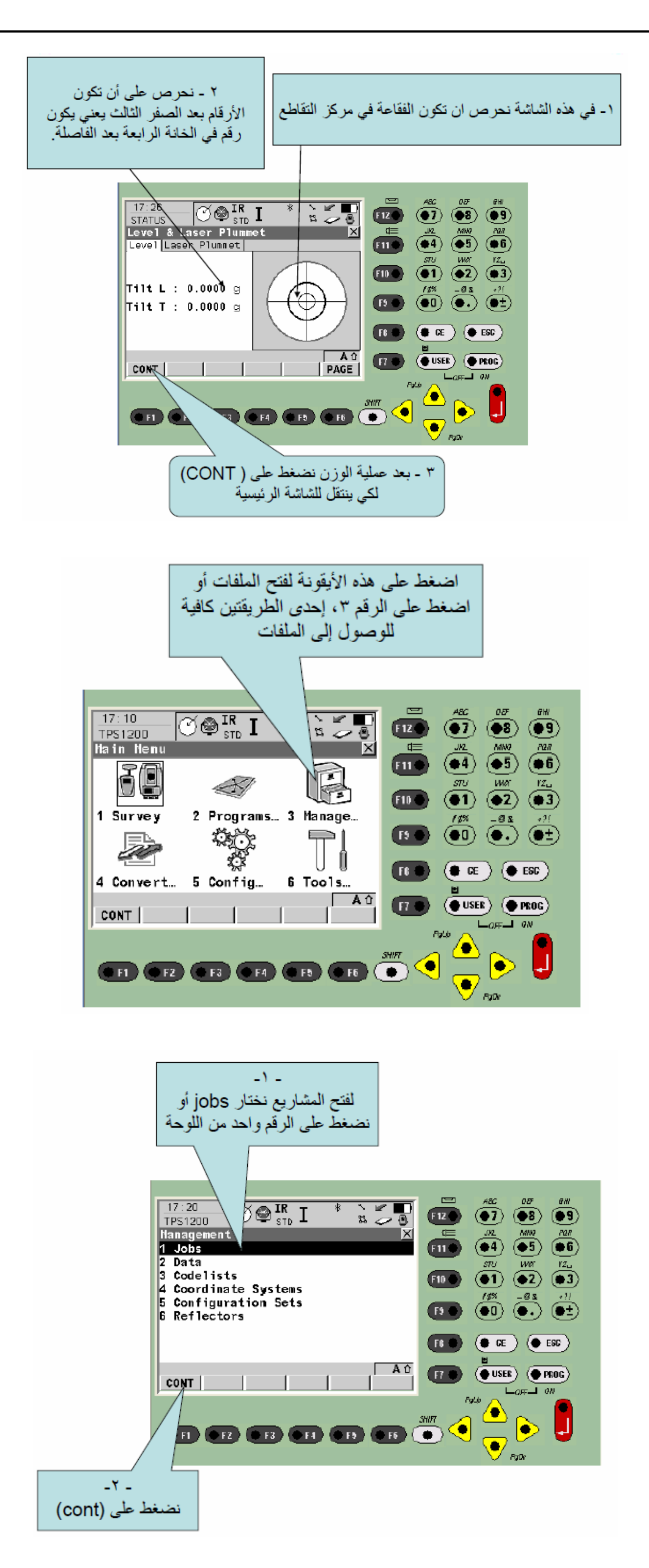
٨-٣ مثال لخطوات العمل بمحطة شاملة:

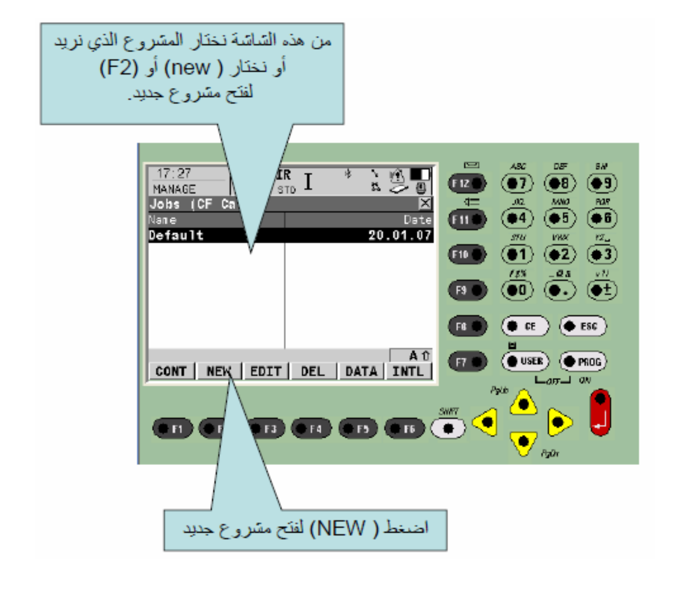
المثال التالي – و أمثلة أخري كثيرة - موجودة في ملفات رقمية علي شبكة الانترنت (أنظر المراجع) وسيتم نقله هنا فقط لإعطاء القارئ فكرة عامة عن إمكانيات و خطوات العمل بأحد أجهزة المحطات الشاملة ليشعر القارئ بمدي سهولة العمل المساحي بهذه الأجهزة المساحية عالية الإمكانيات. الخطوات التالية من إعداد المهندس أحمد بن علوان عقيل لشرح استخدام المحطة الشاملة من شركة Leica موديل TPS 1200. كما توجد علي شبكة الانترنت (أنظر المراجع) برامج يمكن تحميلها وهي لمحاكاة عمل المحطات الشاملة ، أي أن المستخدم عندما يبدأ تنفيذ هذا البرنامج علي حاسبه الآلي يكون كما لو كان يعمل حقيقة في الطبيعة علي هذا الموديل من المحطة الشاملة وبالتالي فأن مثل هذه البرامج Simulator مفيدة جدا للتدريب واكتساب الخبرة (التفاعلية) علي هذه الأجهزة المساحية.

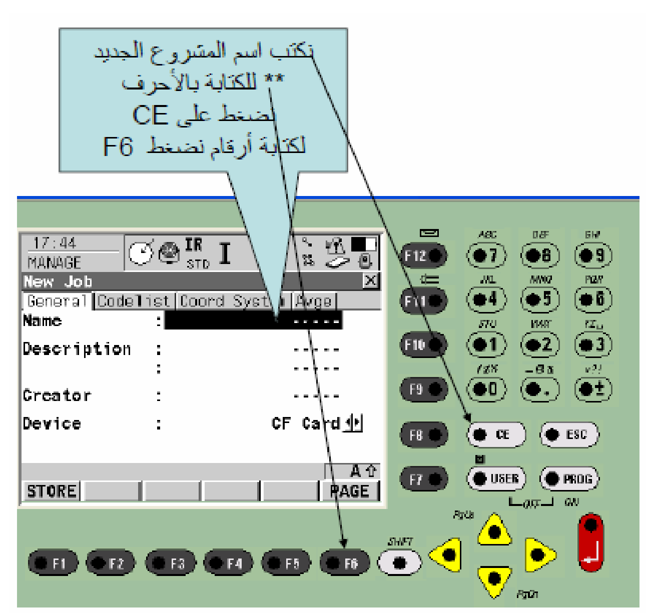
شرح استخدام المحطة الشاملة من شركة Leica موديل TPS 1200

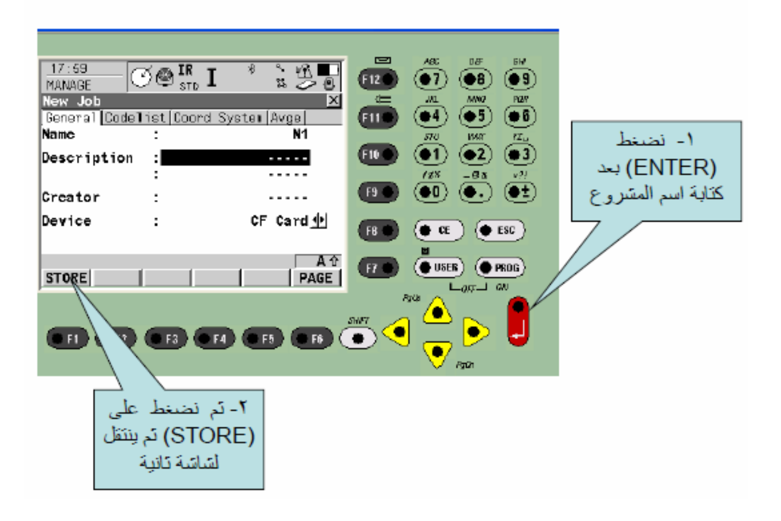


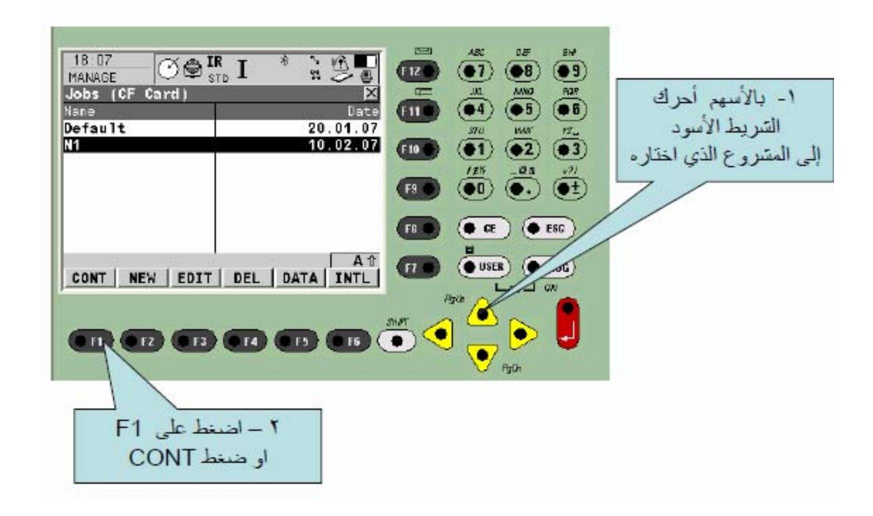


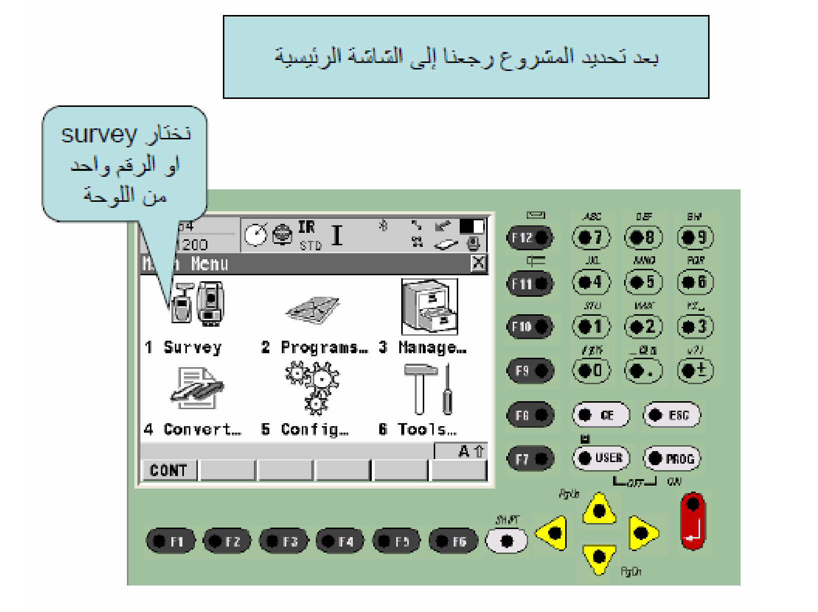

١- في هذه الشاشة نحرص ان تكون الفقاعة في مركز التقاطع
٢ - نحرص على أن تكون الأرقام بعد الصفر الثالث يعني يكون رقم في الخانة الرابعة بعد الفاصلة.
Level & Laser Plummet
Tilt L : 0.0000
Tilt T : 0.0000
CONT
PAGE
٣ - بعد عملية الوزن نضغط على (CONT) لكي ينتقل للشاشة الرئيسية
اضغط على هذه الأيقونة لفتح الملفات أو اضغط على الرقم ٣، إحدى الطريقتين كافية للوصول إلى الملفات
Main Menu
1 Survey
2 Programs..
3 Manage..
4 Convert..
5 Config..
6 Tools..
CONT
-١-
لفتح المشاريع نختار jobs أو نضغط على الرقم واحد من اللوحة
Management
1 Jobs
2 Data
3 Codelists
4 Coordinate Systems
5 Configuration Sets
6 Reflectors
CONT
-٢-
نضغط على (cont)

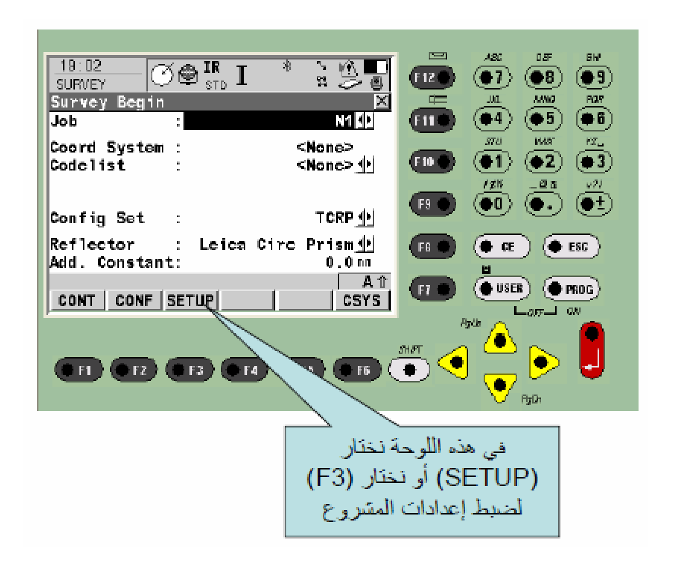

من هذه الشاشة نختار المشروع الذي نريد
أو نختار (new) أو (F2)
لفتح مشروع جديد.
اضغط (NEW) لفتح مشروع جديد
17:27
MANAGE
Jobs (CF Ca
Name
Date
Default
20.01.07
CONT
NEW
EDIT
DEL
DATA
INTL


لكتب اسم المشروع الجديد
** للكتابة بالأحرف
اضغط على CE
لكتابة أرقام نضغط F6
17:44
MANAGE
New Job
General
Codelist
Avge
Name
Description
Creator
Device
CF Card
STORE
PAGE

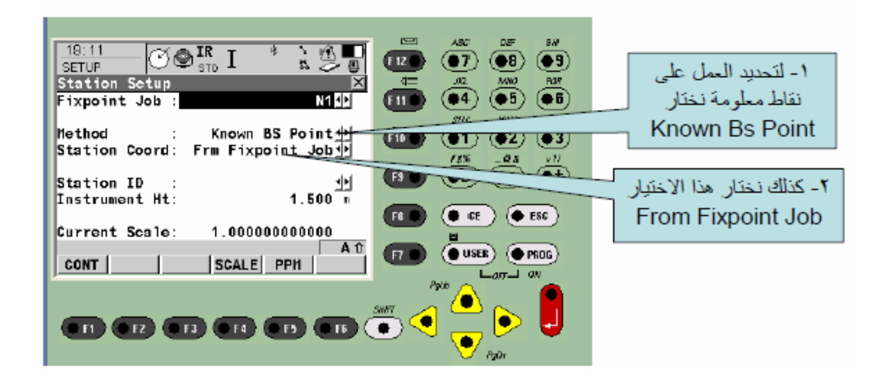

١- نضغط
(ENTER) بعد
كتابة اسم المشروع
٢- تم نضغط على
(STORE) تم ينتقل
لشاشة تالية
17:59
MANAGE
New Job
Name
N1
Description
Creator
Device
CF Card
STORE
PAGE

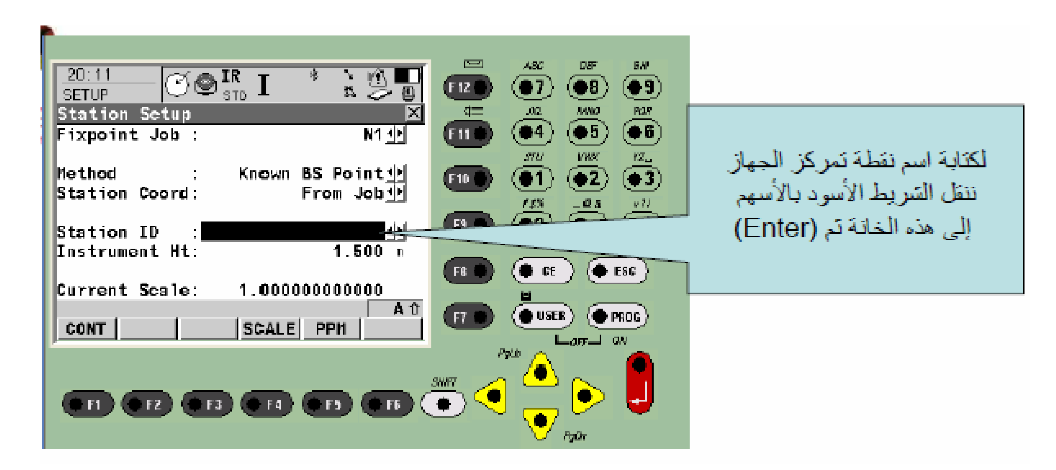

١- بالأسهم أحرك
الشريط الأسود
إلى المشروع الذي اختاره
٢ – اضغط على F1
او ضغط CONT
Jobs (CF Card)
Default 20.01.07
N1 10.02.07
CONT NEW EDIT DEL DATA INTL


بعد تحديد المشروع نرجع إلى الشاشة الرئيسية
نختار survey
او الرقم واحد
من اللوحة
1 Survey
2 Programs…
3 Manage…
4 Convert…
5 Config…
6 Tools…
CONT

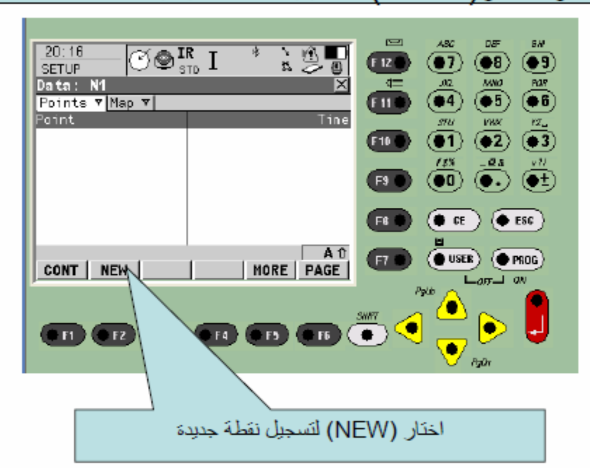

Survey Begin
Job : N1
Coord System : <None>
Codelist : <None>
Config Set : TCRP
Reflector : Leica Circ Prism
Add. Constant: 0.0 mm
CONT CONF SETUP CSYS
في هذه اللوحة نختار
(F3) أو (SETUP)
لضبط إعدادات المشروع

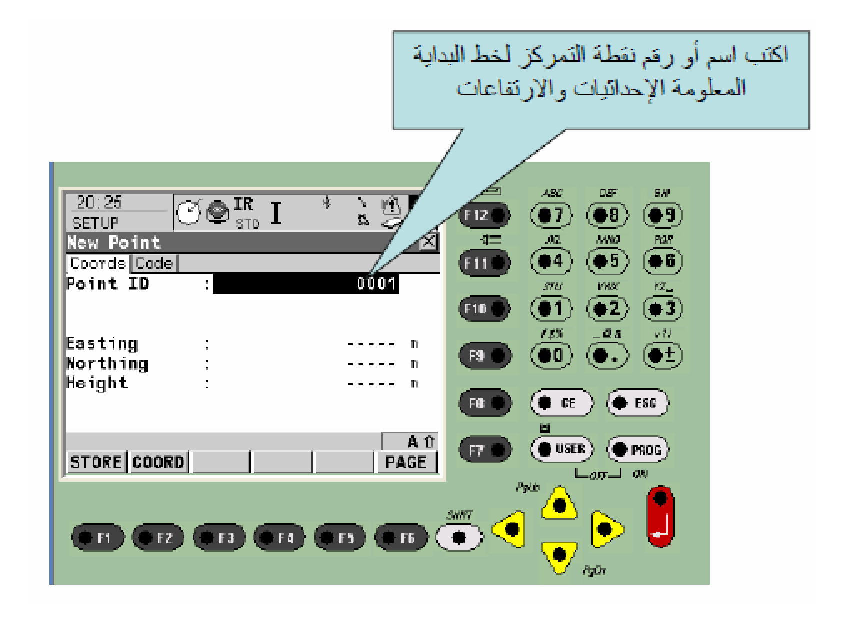
نستخدم هذه الطريقة في حال العمل على نقاط معلومة لخط البداية

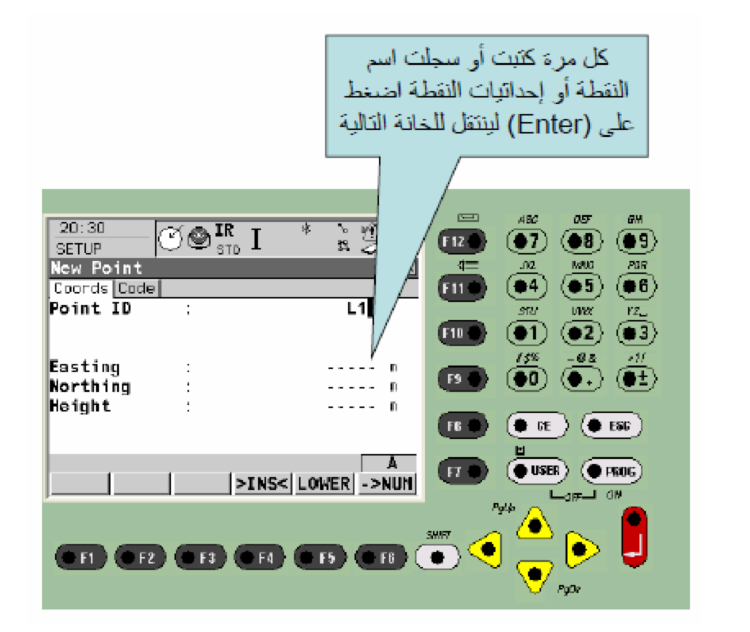


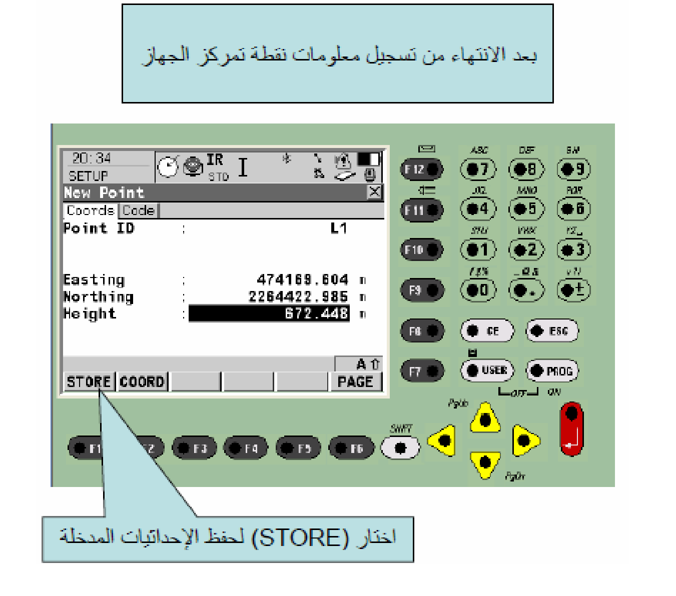


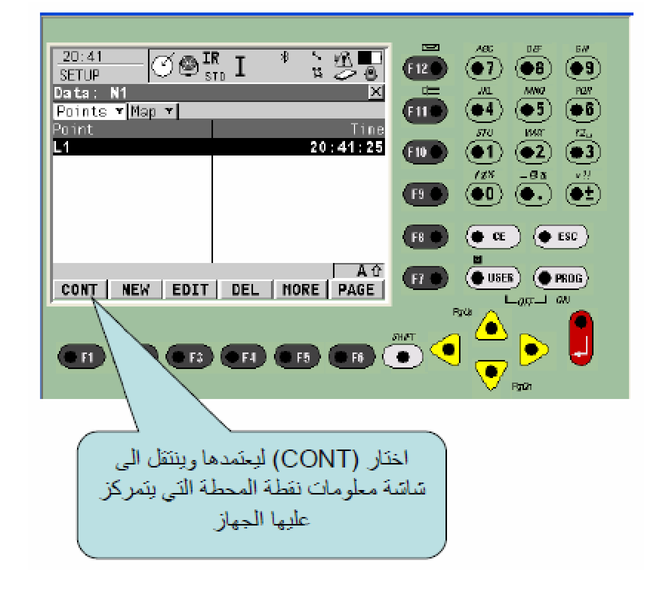
في هذه الشاشة أحياناً تكون النقاط مخزنة في الجهاز نضغط على (Enter) فيظهر مربع حوار نكتب فيه اسم أو رقم النقطة للبحث عنها أو اختار(NEW) لتسجيل نقطة جديدة.

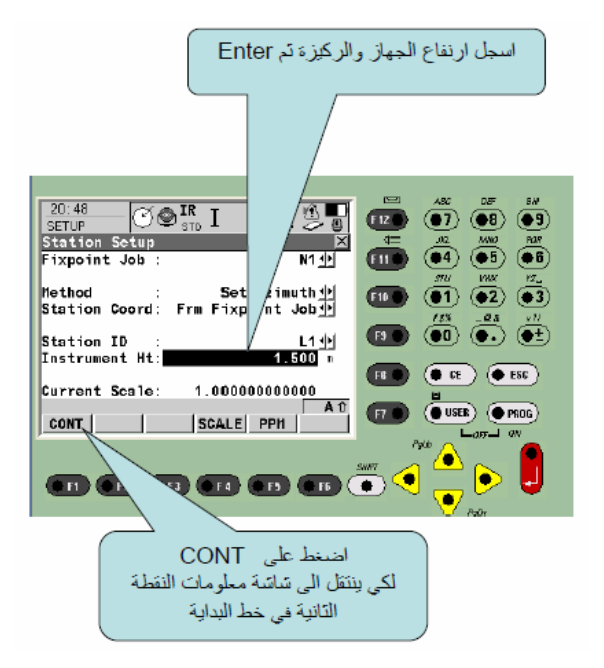


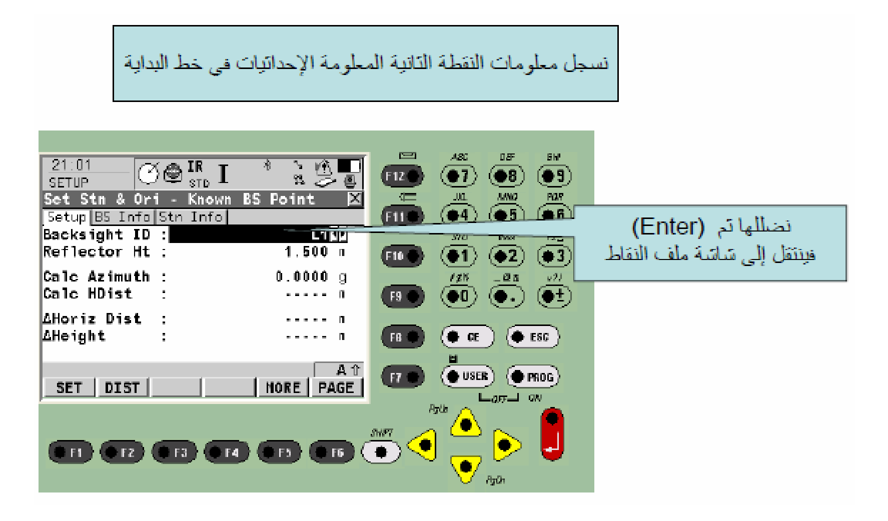

اكتب اسم أو رقم نقطة التمركز لخط البداية
المعلومة الإحداثيات و الارتفاعات
20:25
SETUP
New Point
Coords Code
Point ID : 0001
Easting : ----- m
Northing : ----- m
Height : ----- m
STORE COORD PAGE

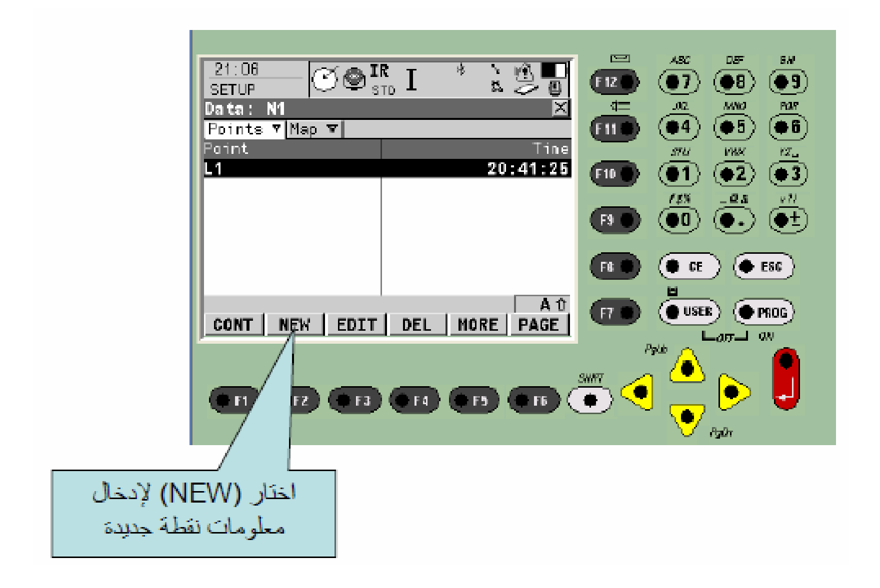

كل مرة كتبك أو سجلت اسم
النقطة أو إحداثيات النقطة اضغط
على (Enter) لينتقل للخانة التالية
20:30
SETUP
New Point
Coords Code
Point ID : L1
Easting : ----- m
Northing : ----- m
Height : ----- m
>INS< LOWER ->NUM


بعد الانتهاء من تسجيل معلومات نقطة تمركز الجهاز
20:34
SETUP
New Point
Coords Code
Point ID : L1
Easting : 474169.604 m
Northing : 2264422.985 m
Height : 672.448 m
STORE COORD PAGE
اختار (STORE) لحفظ الإحداثيات المدخلة

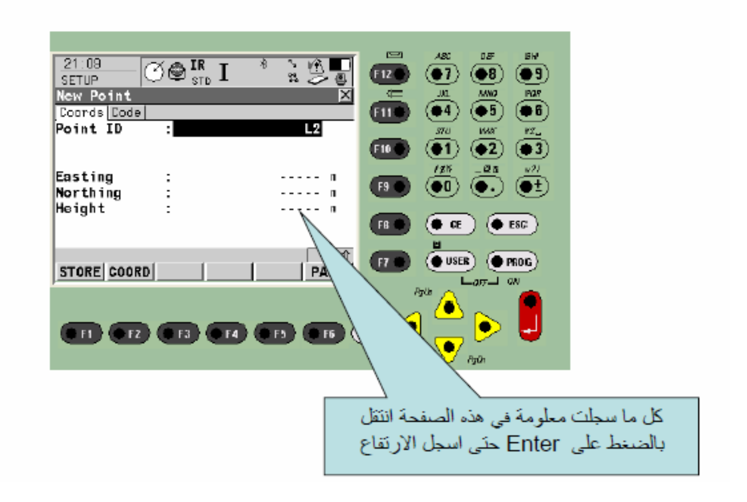

اختار (CONT) ليعتمدها وينتقل الى
شاشة معلومات نقطة المحطة التى يتمركز
عليها الجهاز
CONT
NEW
EDIT
DEL
MORE
PAGE

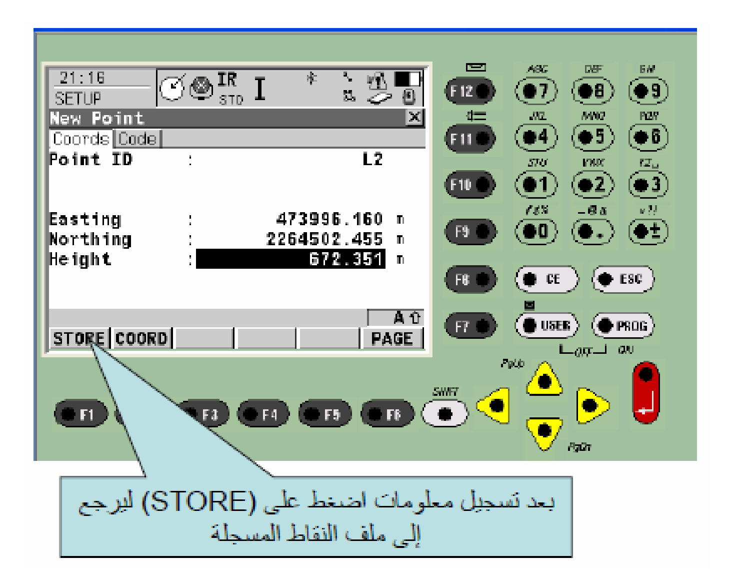

اسجل ارتفاع الجهاز والركيزة ثم Enter
Station Setup
Fixpoint Job :
Station Coord:
Station ID
Instrument Ht:
1.500
Current Scale:
1.000000000000
CONT
SCALE
PPM
اضغط على CONT
لكى ينتقل الى شاشة معلومات النقطة
التالية فى خط البداية

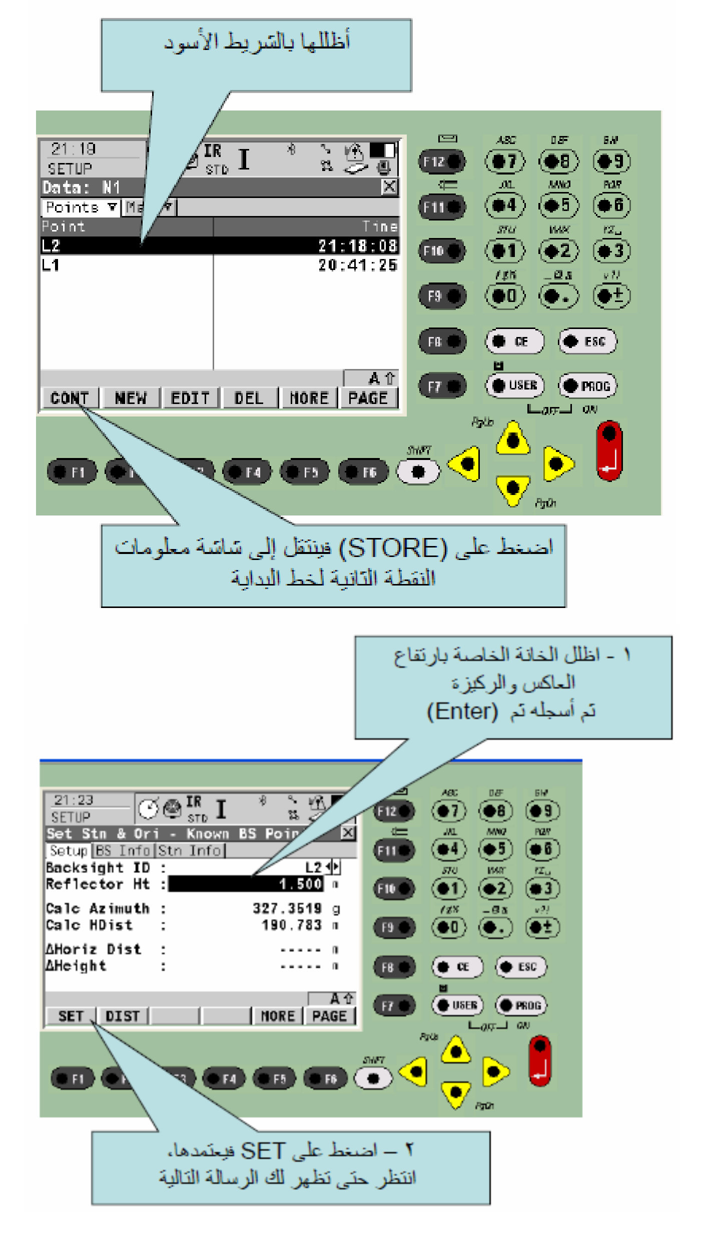

نسجل معلومات النقطة التالية المعلومة الإحداثيات فى خط البداية
Set Stn & Ori - Known BS Point
Backsight ID
Reflector Ht
1.500
Calc Azimuth
0.0000
Calc HDist
ΔHoriz Dist
ΔHeight
SET
DIST
MORE
PAGE
نضغط ثم (Enter)
فينتقل إلى شاشة ملف النقاط

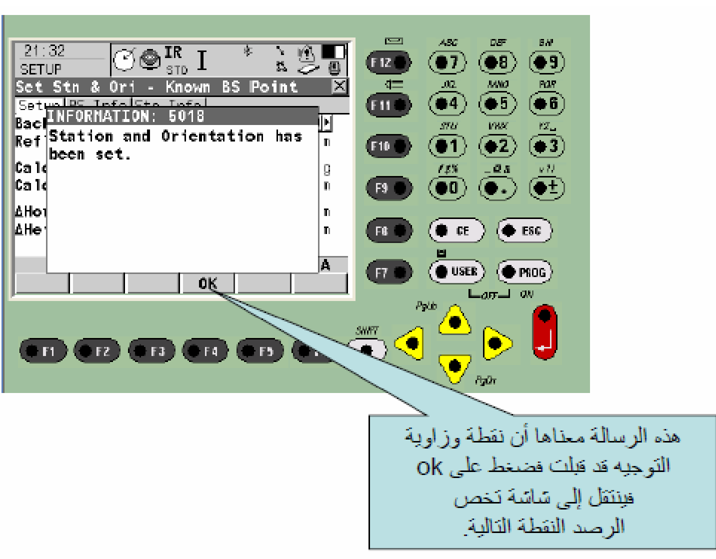


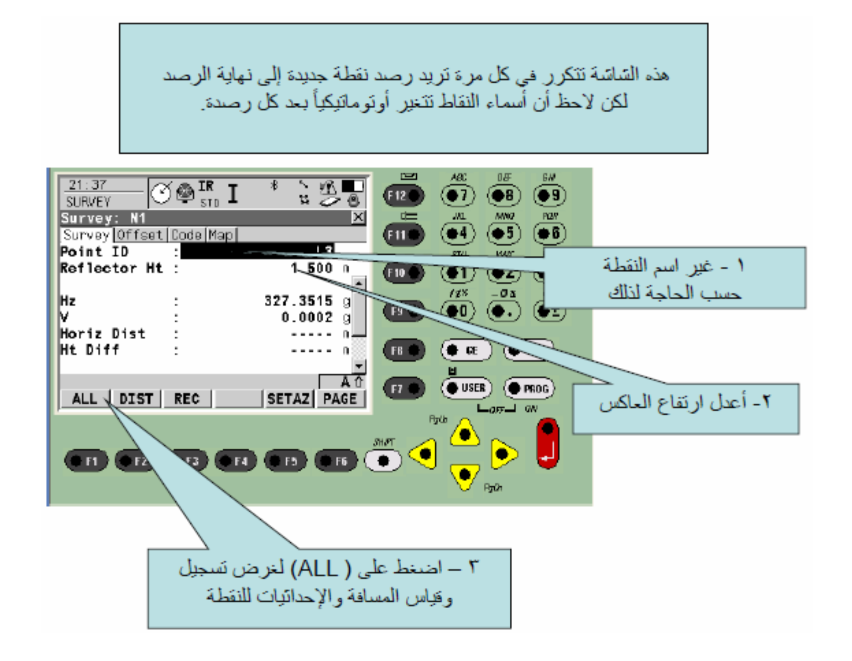
في هذه الشاشة اسجل معلومات النقطة المعلومة الاحداثيات والارتفاع






أظللها بالشريط الأسود
اضغط على (STORE) فينتقل إلى شاشة معلومات النقطة التالية لخط البداية
١ - اظلل الخانة الخاصة بارتفاع العاكس والركيزة
ثم أسجله ثم (Enter)
٢ – اضغط على SET فيعدمها.
انتظر حتى تظهر لك الرسالة التالية
CONT
NEW
EDIT
DEL
MORE
PAGE
Set Stn & Ori - Known BS Point
Backsight ID
Reflector Ht
Calc Azimuth
Calc HDist
SET
DIST


INFORMATION: 5018
Station and Orientation has been set.
OK
هذه الرسالة معناها أن نقطة زاوية التوجيه قد قبلت فضغط على ok
فينتقل إلى شاشة تخص
الرصد النقطة التالية.



٨-٤ أنواع متقدمة من المحطة الشاملة:

تقدمت تقنيات إنتاج المحطات الشاملة في السنوات الأخيرة لتظهر أنواع متقدمة من الأجهزة تناسب تطبيقات الرفع المساحي في مجالات متعددة من المشروعات الهندسية. ومن هذه الأجيال الحديثة من المحطة الشاملة ما يلي:

المحطة الشاملة المتحركة:

تقليديا كان الراصد هو الذي يقف بجوار جهاز المساحة ويقوم بالرصد وتسجيل القراءات بينما المساعد هو الذي يحمل الشاخص (أو العاكس) ويتحرك من نقطة لأخرى. مع ابتكار أجهزة قياس المسافات الكترونيا EDM زادت المسافة بين الراصد و مساعده (المسافة بين الجهاز و العاكس) حتى وصلت إلي عدة كيلومترات مما جعل التواصل بينهما يتطلب وجود أجهزة راديو لاسلكي مع كلا منهما. هذا المبدأ هو أساس تطوير المحطات الشاملة المتحركة Motorized or Robotic Total Station وهي جهاز محطة شاملة مركب علي قاعدة متحركة بموتور داخلي بحيث أن الجهاز يستطيع الدوران حول نفسه أفقيا ٣٦٠ درجة كاملة (مع ضمان بقائه في الوضع الأفقي الدقيق من خلال الموازن الداخلي به compensator). تتم حركة الجهاز من خلال وحدة تحكم control unit متصلة لاسلكيا بالمحطة الشاملة ذاتها. هذه الوحدة تكون مع الراصد ومن خلالها يمكنه التحكم في المحطة الشاملة ذاتها حتى إن كان يبعد عنه كيلومترات. تعتمد هذه التقنية على مبدأ "التعرف الآلي على الهدف" Automatic Target Recognition أو اختصارا ATR ، وهو إمكانية أن يتعرف جهاز المحطة الشاملة أثناء دورانه علي الهدف (العاكس) ويحدد موقعه. بالتالي أصبح الراصد هو من يحمل العاكس ويتحكم في الجهاز ويقوم بعملية الرصد و تسجيل القياسات آليا. بهذا أصبح العمل الحقلي أسرع في التنفيذ مما يقلل من تكلفة أعمال الرفع المساحي الميداني. يمكن تمييز جهاز المحطة الشاملة المتحركة من خلال راديو الاستقبال اللاسلكي المثبت أعلاه.



شكل (٨-٣) مثال لجهاز المحطة الشاملة المتحركة

المحطة الشاملة بالمسح الليزري:

يتطلب الرفع المساحي الطبوغرافي تحديد إحداثيات النقاط (س ، ص ، ع) بسرعة ودقة للعديد من المشروعات الهندسية ، وربما يتجاوز عدد النقاط المطلوب رصدها المئات في مشروع واحد. فعلي سبيل المثال إن كان هناك مشروع هندسي لقطع جزء من جبل صخري وعلي مهندس المساحة أن يتابع العمل لتحديد كمية الأحجار المقطوعة. في هذا المثال سيقوم الراصد بتحديد إحداثيات مئات من النقاط (علي هذا الجبل) لرسم خريطة كنتورية أو سطح مجسم له قبل بدء أعمال الحفر ، ثم سيقوم بإعادة هذا الرفع الطبوغرافي مرة أخري كل فترة زمنية لحساب حجم جزء الجبل الذي تم حفره. باستخدام المحطة الشاملة العادية فأن هذا الرفع المساحي سيستغرق وقتا طويلا في كل مرة. تم ابتكار جهاز المحطة الشاملة بالمسح الليزري Laser Scanner Total Station بحيث أن جهاز الليزر (الذي يقيس المسافة أوتوماتكيا ومن ثم يحسب إحداثيات نقطة الرصد) يستطيع الحركة أفقيا و رأسيا بصورة آلية. أي أن الراصد يبدأ بتحديد مجال الرؤية الذي يريد رفع معالمه مساحيا (الأركان الأربعة) كما يحدد المسافة المطلوبة للقياس بين كل نقطتين متتاليتين. يبدأ الجهاز في الرفع المساحي بالليزر آليا وبصورة مستمرة حتى يكتمل رفع جميع المعالم في مجال الرؤية المحدد ، ويتم تخزين هذه القياسات آليا في ذاكرة الجهاز. هذا النوع من المحطات الشاملة يعتمد علي مبدأ أن الموجة المرسلة من الجهاز ستنعكس عند اصطدامها بأي هدف (أي لا يستخدم عاكس مع الجهاز) مما يجعله مناسبا للرفع المساحي للمعالم التي لا يمكن الوصول إليها. وبهذا فأن ناتج المسح الليزري سيكون مجسم ثلاثي الأبعاد للمعالم المرفوعة. من أمثلة استخدامات المحطة الشاملة بالمسح الليزري: مشروعات الهندسية المدنية التي تحتاج تقدير كميات الحفر و الردم ، توثيق المواقع الأثرية في حالة نقلها من مكان لآخر حتى يمكن إعادة تركيبها بنفس أبعادها و مواقعها النسبية.



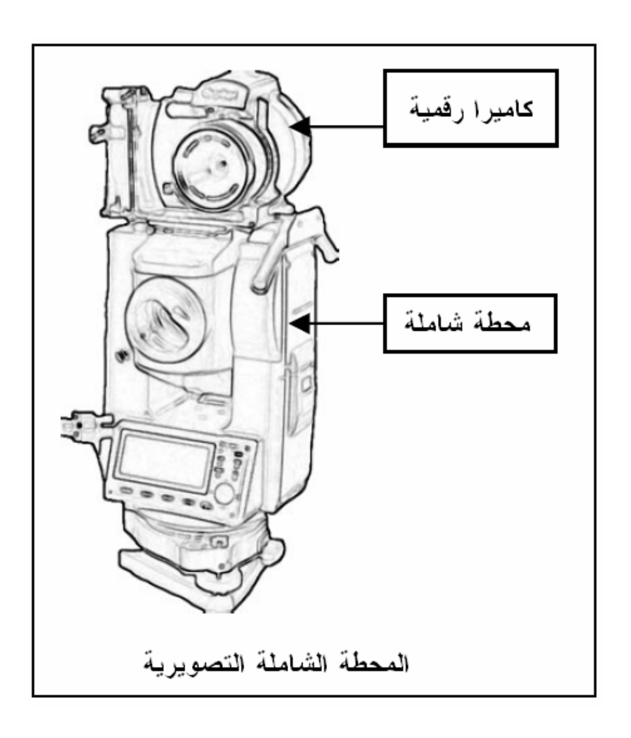
شكل (٨-٤) مثال لجهاز المحطة الشاملة بالمسح الليزري

مواصفات جهاز Leica Scan Station C10 كمثال (فقط) للمحطة الشاملة بالمسح الليزري (الشكل السابق):

دقة قياس الإحداثيات: ٦ ملليمتر
دقة قياس المسافات: ٤ ملليمتر
دقة قياس الزوايا: "١٢
طول موجة شعاع الليزر: ٥٣٢ نانومتر
مواصفات شعاع الليزر: مرئي – لونه أخضر.
نوع شعاع الليزر: 3R (IEC 60825-1)
مدي الليزر: ٣٠٠ متر
معدل المسح الليزري: ٥٠ ألف نقطة في الثانية
عدد النقاط الممسوحة: بحد أقصي ٢٠ ألف نقطة أفقيا و ٥ آلاف نقطة رأسيا في الرصدة الواحدة.
مجال الرؤية: ٣٦٠ درجة أفقيا ، ٢٧٠ درجة رأسيا
سعة تخزين البيانات: ٨٠ جيجابايت
أبعاد الجهاز: ٢٣٨ × ٣٥٨ × ٣٩٥ ملليمتر
وزن الجهاز: ١٣ كيلوجرام
البطارية: داخلية ، وأخري خارجية.
فترة عمل البطارية: ٦ ساعات
درجة حرارة التي يعمل بها الجهاز: من صفر إلي +٤٠ درجة مئوية.

المحطة الشاملة التصويرية:

تتكون نظم المحطة الشاملة التصويرية Photogrammetric Total Station Systems: PTTS من الدمج بين المحطة الشاملة و الكاميرا الرقمية لإنتاج جهاز يعتمد علي التكامل بين تقنيتي المسح الأرضي و المساحة التصويرية الأرضية. تعد تقنية المساحة التصويرية الأرضية Close-Range Photogrammetry من التقنيات المساحية التي تمكن من تحديد المواقع (الإحداثيات) من خلال صورة فوتوغرافية عالية الدقة سواء كانت صورة تقليدية (مطبوعة) أو صورة رقمية. كانت فكرة وضع كاميرا علي جهاز ثيودليت موجودة منذ السبعينات من القرن العشرين وكانت هناك أجهزة تسمي الثيودليت التصويري Photo-Thedolite مثل أجهزة Wild P30 and Ziess 19/1318. إلا أن هذه الأجهزة توقف إنتاجها بعد ذلك ، وفي بداية التسعينات عادت الفكرة للظهور مرة أخري لكن تم استخدام المحطة الشاملة بديلا عن الثيودليت وتم دمجها مع كاميرا رقمية عالية الدقة في جهاز واحد. تستخدم المحطة الشاملة التصويرية في تطبيقات عديدة مثل تقدير كميات الحفر و الردم في المشروعات الهندسية وكذلك أعمال الرفع الطبوغرافي و إنشاء الخرائط الكنتورية للمناطق الشاسعة ، حيث تتميز بتخفيض مدة و تكلفة العمل الحقلي.



شكل (٨-٥) المحطة الشاملة بالمسح التصويرية

الفصل التاسع

المنحنيات

تحتاج المشروعات الهندسية الطولية (مثل الطرق و السكك الحديدية و أنابيب المياه) لوجود المنحنيات لكي تتفادى بعض العقبات الطبيعية التي تعيق تنفيذ الخط المستقيم أفقيا أو لعبور العائق رأسيا (الكباري و الجسور). أحيانا تكون التكلفة الاقتصادية هي الداعي لتنفيذ المنحنيات بدلا من إزالة الحاجز الطبيعي الموجود والذي سيكون إزالته ذو تكلفته عالية.



شكل (٩-١) المنحنيات في الطرق

تنقسم المنحنيات إلي منحنيات أفقية و منحنيات رأسية و منحنيات مركبة (منحنيات أفقية و رأسية معا).

٩-١ أنواع المنحنيات الأفقية:

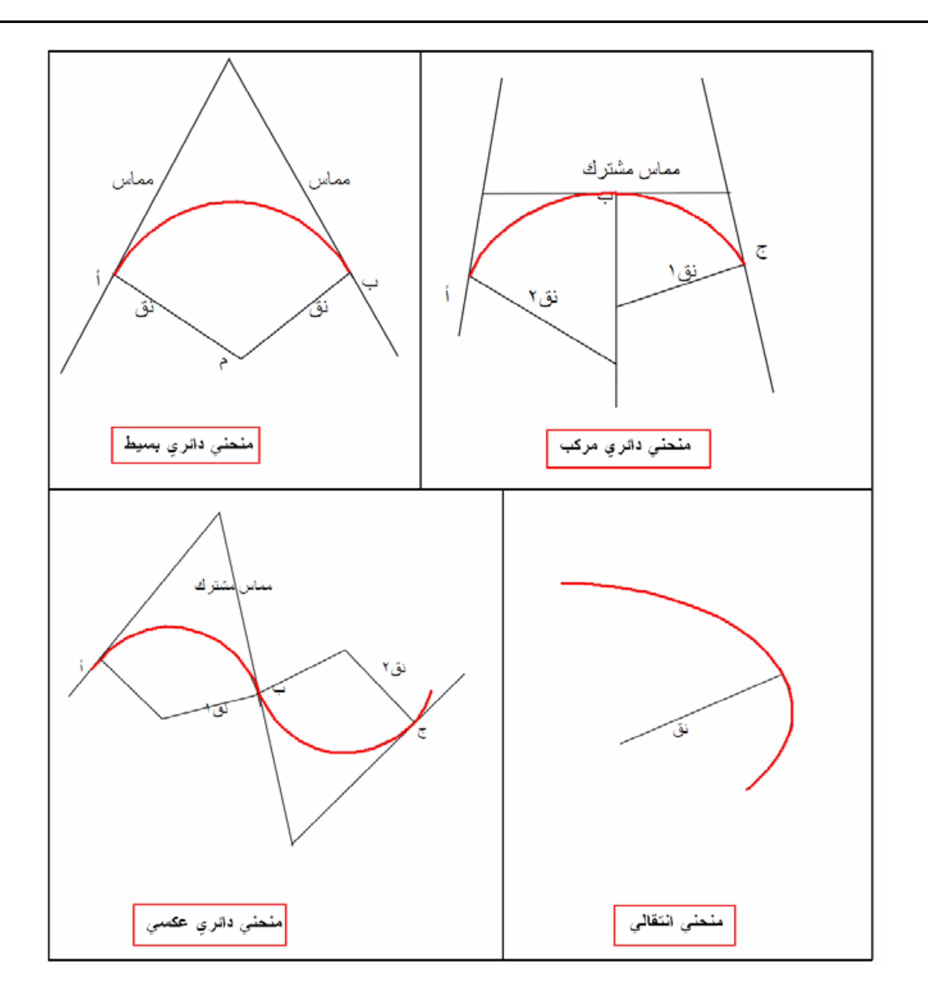
يستخدم المنحني الأفقي للتغيير من اتجاه خط مستقيم لخط مستقيم آخر ويكون المنحني مماسا لكلا منهما. وتنقسم المنحنيات الأفقية إلي أربعة أنواع:

(أ) المنحني الدائري البسيط Simple Curve: يتكون من قوس من دائرة نصف قطرها ثابت ويكون مماسا لها.

(ب) المنحني الدائري المركب Compound Curve: يتكون من قوسين من دائرتين مختلفتان في أنصاف أقطارهما ويقع مركزي الدائرتين في جهة واحدة من المنحني.

(ج) المنحني الدائري العكسي Reverse Curve: يتكون من قوسين من دائرتين يقع مركزيهما في جهتين مختلفتين من المنحني.

(د) المنحني الانتقالي Spiral Curve: يتكون من قوس ذي أنصاف أقطار متعددة تتراوح بين ما لا نهاية إلي نصف قطر معين.



شكل (٩-٢) أنواع المنحنيات

٩-١-١ تعريف المنحنى:

يتم تعريف أي منحني إما بنصف القطر أو درجة المنحني ، والعلاقة الرياضية بينهما كالتالي:

جا د/٢ = ١٠ ÷ نق (٩-١)

يمكن تبسيط المعادلة (٨-١) بدرجة تقريبية لأنصاف الأقطار الكبيرة لتصبح:

نق (متر) = ١١٣٦ ÷ د (٩-٢)

حيث:

نق نصف قطر المنحني

د الزاوية المركزية (بالدرجات) المقابلة لوتر معلوم يسمي وتر القياس وغالبا يساوي ٢٠ متر.

<u>مثال:</u>

أحسب نصف قطر المنحني الذي درجته تساوي ٦° بالطريقة الدقيقة و الطريقة التقريبية؟

<u>الطريقة الدقيقة:</u>

جا د/٢ = ١٠ ÷ نق
جا ٢/٦ = ١٠ ÷ نق
نق = ١٩١.٠٦ متر

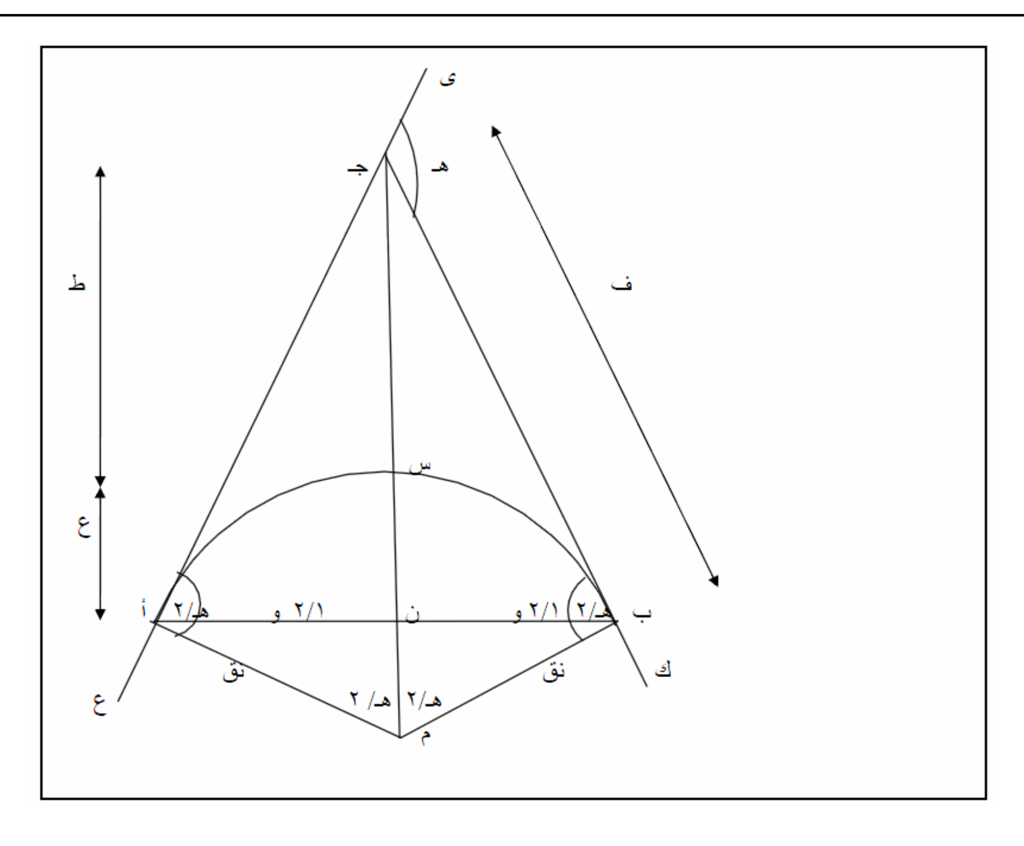
<u>الطريقة التقريبية:</u>

نق = ١١٣٦ ÷ د
= ١١٣٦ ÷ ٦ = ١٩١.٠٠ متر

٩-١-٢ أجزاء المنحنى البسيط:

تتكون أجزاء المنحني البسيط من (أنظر الشكل):

الرمز	الاسم
هـ°	زاوية تقاطع المماسين
هـ° = الزاوية ب م أ	الزاوية المركزية للمنحني
نق = أ م = ب م = س م	نصف قطر المنحني
ق = القوس أ س ب	طول المنحني
و = الخط الواصل بين نقطتي المماس	الوتر الكلي
ف = أ ج = ب ج	طول المماس الجزئي
ع = البعد العمودي بين قمة المنحني والوتر الكلي	السهم الداخلي
ط = البعد العمودي بين قمة المنحني ونقطة التقاطع	السهم الخارجي
نقطة التماس الأولي	نقطة بداية المنحني
نقطة التماس الثانية	نقطة نهاية المنحني



شكل (٩-٣) أجزاء المنحني البسيط

٩-١-٣ حساب أجزاء المنحنى البسيط:

لحساب أجزاء المنحني البسيط يلزم معرفة قيم : (١) نصف القطر نق ، (٢) درجة المنحني د ، (٣) زاوية تقاطع المماسين هـ:

طول المماس الجزئي:

ف = نق ظا (هـ/٢) (٩-٣)

طول الوتر الكلي:

و = ٢ نق جا (هـ/٢) (٩-٤)

طول المنحني:

ق = ٠.٠١٧٤٥ هـ نق (٩-٥)

حيث هـ بالدرجات.

طول السهم الداخلي:

ع = نق (١- جتا (هـ/٢)) (٩-٦)

وأيضا:

ع = نق – جذر [نق^{٢}- و^{٢} ÷ ٤)] (٩-٧)

طول السهم الخارجي:

ط = نق [قا (هـ/٢) – ١] (٩-٨)

الفرق بين طول القوس و الوتر المقابل له:

ق – و = ق^{٣} ÷ ٢٤ نق^{٢} = و^{٣} ÷ ٢٤ نق^{٢} (٩-٩)

٩-١-٤ تعيين زاوية التقاطع ونصف قطر المنحنى فى الطبيعة:

لتعيين زاوية تقاطع المنحني في الطبيعة نمد المماسين ن ق ، ص س علي استقامتهما (باستخدام الشواخص و الشوك) ونضع شاخصين ج١ ، ج٢ علي امتداد ن ق ونشد بينهما شريط. نتحرك علي هذا الشريط حتى نعين نقطة ج علي امتداد ص س فتكون نقطة تقاطع المماسين ، ويؤخذ علي المماسين ج ل = ج ك بحيث يكون ك ل طولا مناسبا ثم يقاس طوله.

نحسب الزاوية س كالتالي:

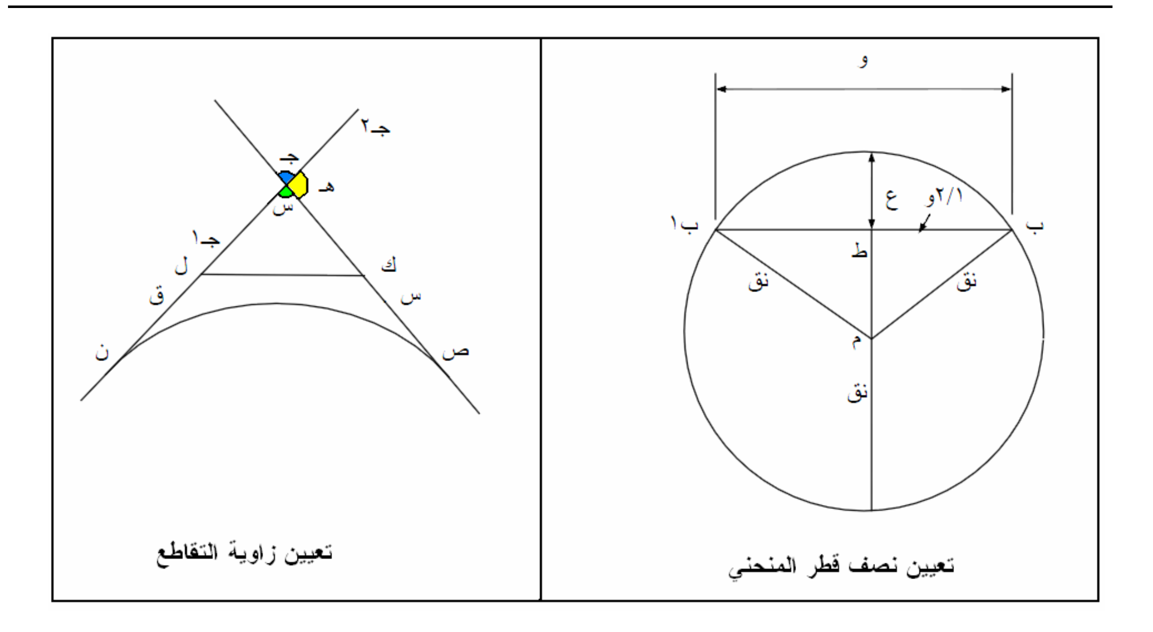
جا (س/٢) = (٠.٥ المسافة ك ل × المسافة ك ج) (٩-١٠)

ومنها نحسب الزاوية هـ:

زاوية التقاطع هـ = ١٨٠^{o} – س (٩-١١)

و لحساب نصف قطر المنحني (نق) – أنظر الشكل التالي - نقيس طول الوتر الكلي و (المسافة من ب إلي ب١) ، وطول السهم الداخلي ع (المسافة من ط إلي قمة المنحني):

نق = و^{٢} + ٨ ع (٩-١٢)



شكل (٩-٤) تعيين أجزاء المنحني البسيط في الطبيعة

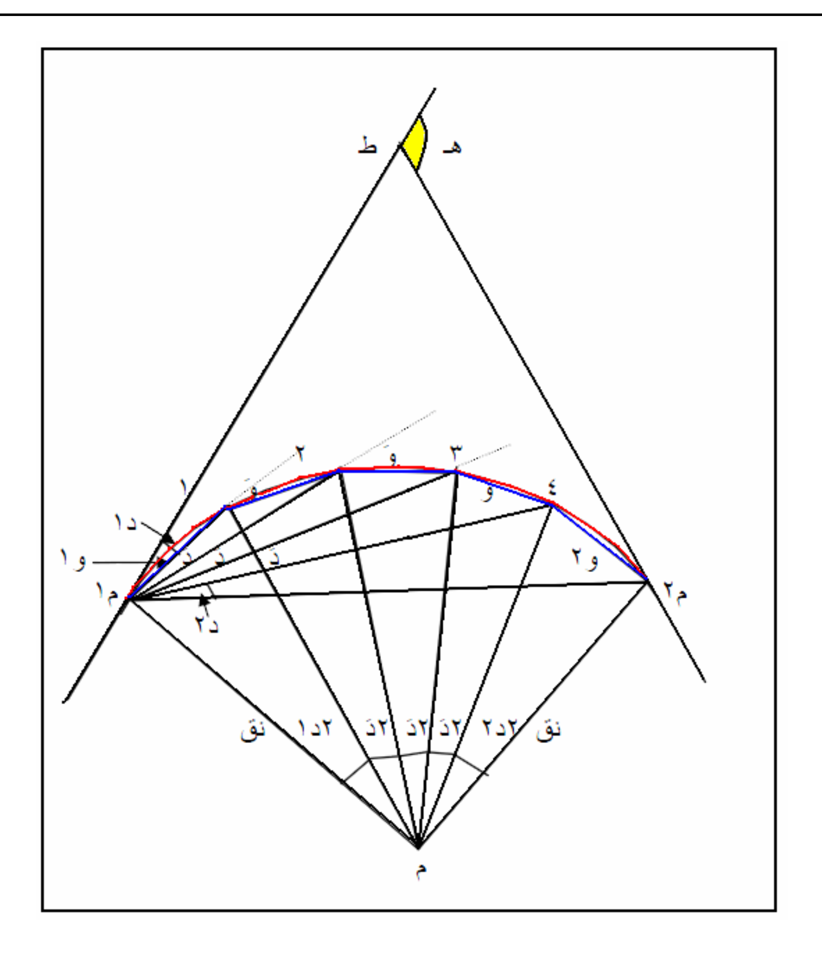
٩-٢ توقيع المنحنيات الأفقية في الطبيعة:

عملية توقيع (تحديد) مواضع عدة نقاط علي المنحني بغرض توقيعه في الطبيعة تسمي بعملية "تخطيط المنحني". يتم توقيع النقاط بحيث تناسب المسافات بينها علي الدقة المطلوبة بحيث أننا عند توصيل هذه النقاط بخطوط مستقيمة (أوتار المنحني) نحصل علي محور المنحني في الطبيعة. توجد عدة طرق لتوقيع المنحنيات الأفقية في الطبيعة ويعتمد اختيار الطريقة علي الأجهزة المساحية المتوفرة وأيضا علي الدقة المطلوبة.

٩-٢-١ توقيع المنحنيات الأفقية بجهاز الثيودليت:

يستخدم الثيودليت و الشريط (أو جهاز قياس المسافات الكترونيا EDM في حالة توافره) لتوقيع نقاط المنحني بطريقة تسمي طريقة زوايا الانحراف. في هذه الطريقة نحدد عدة أوتار جزئية للمنحني (و١ ، و٢ ، و٣ .... الخ) من خلال حساب قيم زوايا الانحراف المقابلة لهذه الأوتار (د١ ، د٢ ، د٣ ..... الخ) من خلال المعادلة:

د بالدرجات = (٩٠° × و) ÷ (ط × نق) (٩-١٣)



شكل (٩-٥) توقيع المنحنى الدائري بالثيودليت و الشريط بطريقة زوايا الانحراف

<u>مثال:</u>

منحنـي دائـري بسيط نـصف قطـره ٣٠٠ متـرا يـصل بـين محـوري طـريقين مـستقيمين متقاطعين بزاويـة انحـراف قـدرها ٣٠° وحطـة نقطـة التقـاطع (ط) هـي ٢٢٥٦.٥٩ متـر. أحسب كل المعلومات اللازمة لتوقيع هذا المنحني مع عمل التحقيق الحسابي.

(١) طول المماس:

ف = نق ظا (هـ/٢) = ٢٠٠ ظا (٣٠°/٢) = ٥٣.٥٩ متر

(٢) طول المنحني:

ل = ط نق هـ ÷ ١٨٠° = ط × ٢٠٠ × ٣٠° / ١٨٠° = ١٠٤.٧٢ متر

(٣) محطة م١ = محطة نقطة التقاطع ط – طول المماس ف
= ٢٢٥٦.٥٩ – ٥٣.٥٩ = ٢٢٠٣.٠٠ متر

(٤) محطة م٢ = محطة م١ + طول المنحني ل
= ٢٢٠٣.٠٠ + ١٠٤.٧٢ = ٢٣٠٧.٧٢ متر

(٥) نختار طول واحد مناسب للأوتار الجزئية الوسطي (و) بحيث يكون:

و : أقل من أو يساوي (نق / ٢٠) (٩-١٤)

حيث أن نق/٢٠ = ٢٠/٢٠٠ = ١٠ أمتار

إذن نختار و = ١٠ أمتار

(٦) حساب محطات المنحني:

محطة النقطة الأولي علي المنحني (نقطة ١) = أول رقم لمضاعفات العشرة (التي هي قيمة و) بعد محطة م١

حيث أن م١ = ٢٢٠٣.٠٠ متر

إذن نقطة ١ = ٢٢١٠ متر

وبذلك فأن نقطة ٢ = ٢٢٢٠ متر

نقطة ٣ = ٢٢٣٠ متر .... وهكذا.

محطة النقطة الأخيرة علي المنحني = آخر رقم لمضاعفات العشرة (التي هي قيمة و) قبل محطة م٢

حيث أن م٢ = ٢٣٠٧.٧٢ متر

إذن النقطة الأخيرة = ٢٣٠٠ متر

بذلك فأن محطات نقاط المنحني بداية من نقطة م١ إلي نقطة م٢ ستكون:

٢٢٠٣.٠٠ ، ٢٢١٠ ، ٢٢٢٠ ، ٢٢٣٠٩ ، ٢٢٤٠ ، ٢٢٥٠ ، ٢٢٦٠ ، ٢٢٧٠ ، ٢٢٨٠ ، ٢٢٩٠ ، ٢٣٠٠ ، ٢٣٠٧.٧٢ متر

(٧) حساب أطوال الأوتار الجزئية:

طول الوتر الجزئي الأول:
و١ = محطة النقطة الأولي علي المنحني – محطة م١
= ٢٢١٠.٠٠ – ٢٢٠٣.٠٠ = ٧.٠٠ متر

طول الوتر الجزئي الأوسط = و = ١٠ متر

طول الوتر الجزئي الأخير = محطة م٢ – محطة الوصول الأخيرة علي المنحني
= ٢٣٠٧.٧٢ – ٢٣٠٠.٠٠ = ٧.٧٢ متر

عدد الأوتار الجزئية:
ن = (محطة النقطة الأخيرة – محطة النقطة الأولي) ÷ و (٩-١٥)
= (٢٣٠٠ – ٢٢١٠) ÷ ١٠ = ٩ أوتار

عدد النقاط علي المنحني = عدد الأوتار الجزئية + ١
= ٩ +١ = ١-١ نقاط

(٨) حساب زوايا الانحراف الجزئية:
باستخدام المعادلة ٨-١٣:
د بالدرجات = (٩٠° × و) ÷ (ط × نق)

زاوية الانحراف الأولي: د١= (٩٠° × و١) ÷ (ط × نق)
= (٩٠° × ٧) ÷ (ط × ٢٠٠) = ١٠" ٠٠' ١°

زاوية الانحراف الوسطي: د= (٩٠° × و) ÷ (ط × نق)
= (٩٠° × ١٠) ÷ (ط × ٢٠٠) = ٥٧" ٢٥' ١°

زاوية الانحراف الأخيرة: د٢= (٩٠° × و٢) ÷ (ط × نق)
= (٩٠° × ٧.٧٢) ÷ (ط × ٢٠٠) = ٢١" ٠٦' ١°

التحقيق الحسابي:

مجموع د١ + (ن×د) + د٢ = هـ /٢ (٩-١٦)

مجموع د١ + (ن×د) + د٢ = ١٠" ٠٠' ١° + (٩ × ٥٧" ٢٥' ١° + ٢١" ٠٦' ١°)
= ٠٤" ٠٠' ١٥°

هـ / ٢ = ٣٠° / ٢ = ١٥°

الفرق = ٠٤" ٠٠' ١٥° - ٠٠" ٠٠' ١٥° = ٠٤"
وهو فرق بسيط نتيجة التقريب ، وبذلك فأن التحقيق الحسابي سليما.

نكون الجدول التالي لسهولة توقيع نقاط المنحني في الطبيعة حيث سيكون العمود الأخير في الجدول عبارة عن المجموع التراكمي لزوايا الانحراف الجزئية ، وهذا لتسهيل العمل بجهاز الثيودليت بحيث يتم تصفير الدائرة الأفقية (جعلها = صفر بالضبط) عند التوجيه علي النقطة ط ثم نبدأ في أخذ قراءات الدائرة عند هذه القيم لتوقيع نقاط المنحني.

نقطة المنحني	محطة النقطة	طول الوتر الجزئي (متر)	زاوية الانحراف الجزئية	زاوية الانحراف الكلية (قراءة الدائرة الأفقية)
١	٢٢١٠	٧.٠	١° ٠٠' ١٠"	١° ٠٠' ١٠"
٢	٢٢٢٠	١٠	١° ٢٥' ٥٧"	٢° ٢٦' ٠٧"
٣	٢٢٣٠	١٠	١° ٢٥' ٥٧"	٣° ٤٢' ٠٤"
٤	٢٢٤٠	١٠	١° ٢٥' ٥٧"	٥° ١٨' ٠١"
٥	٢٢٥٠	١٠	١° ٢٥' ٥٧"	٦° ٤٣' ٥٨"
٦	٢٢٦٠	١٠	١° ٢٥' ٥٧"	٨° ٠٩' ٥٥"
٧	٢٢٧٠	١٠	١° ٢٥' ٥٧"	٩° ٢٥' ٥٢"
٨	٢٢٨٠	١٠	١° ٢٥' ٥٧"	١١° ٠١' ٤٩"
٩	٢٢٩٠	١٠	١° ٢٥' ٥٧"	١٢° ٢٧' ٤٦"
١٠	٢٣٠٠	١٠	١° ٢٥' ٥٧"	١٣° ٥٣' ٤٣"
$م_٢$	٢٣٠٧.٧٢	٧.٧٢	١° ٠٦' ٢١"	١٥° ٠٠' ٠٤"

٩-٢-٢ توقيع المنحنيات الأفقية بجهاز المحطة الشاملة:

]مكن توقيع المنحني بجهاز المحطة الشاملة بعدة طرق إلا أن أسهل الطرق هي طريقة زوايا الانحراف و الأطوال. يتم حساب قيم زوايا الانحراف كما في طريقة الثيودليت ، ثم يتم حساب أطوال الإضلاع من نقطة المحطة الشاملة حتى آخر نقطة تماس:

هـ ١ بالدقائق = ١٧١٨.٩ × ل ÷ نق (٩-١٧)

طول الضلع رقم ١ = ل جا (١٨٠ – هـ ١) ÷ جا هـ ١ (٩-١٨)

طول الضلع رقم ٢ = ل جا (١٨٠ – ٢ هـ ١) ÷ جا هـ ١ (٩-١٩)

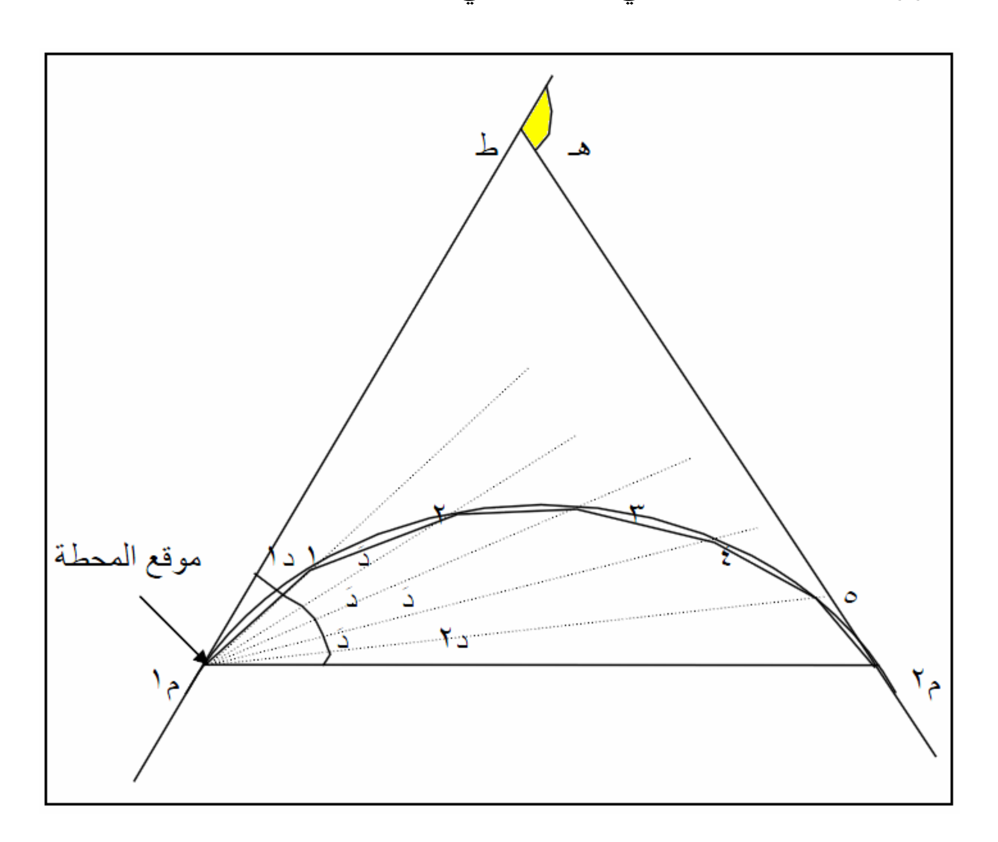
و هكذا.

ثم نكون الجدول اللازم للبيانات المطلوب توقيعها في الطبيعة.

يتكون العمل الحقلي من الخطوات التالية:

- نختار موقع جهاز المحطة الشاملة وغالبا يكون هو نقطة التماس الأولي أ.
- يتم توجيه خط النظر مع خط التماس الواصل من النقطة المحتلة (أ) ونقطة تقاطع المماسين ويتم تصفير الجهاز عندها.
- يتم التوجيه إلي النقطة المطلوب توقيعها بزاوية = هـ ١

- يتحرك المساح بالعاكس علي اتجاه خط النظر ونرصد المسافة بالمحطة الشاملة (من الجهاز إلي العاكس) فنحدد إن كان العاكس سيتحرك للأمام أم للخلف حتى يكون علي البعد المطلوب المسجل في الجدول.
- نكرر الخطوات السابقة لباقي نقاط المنحني المطلوب توقيعها.



شكل (٩-٦) توقيع المنحني الدائري بجهاز المحطة الشاملة

<u>مثال:</u>

عين المقادير اللازمة لتخطيط منحني نصف قطره ٦٠٠ مترا بأوتاد متساوية كلا منها ٢٠ مترا علما بأن زاوية تقاطع المماسين تبلغ "٣٦ '٢٤ و تدرج نقطة تقاطع المماسين تساوي ٧٣.٧٧ طرحة شريط.

ف = نق × ظا (هـ/٢) = ٦٠٠ ظا ("٣٦ '٢٤ /٢) = ١٣٠٨ متر
= ٢٠/١٣٠٨ = ٦.٥٤ طرحة شريط.

تدريج نقطة التماس الأولي = ٧٣.٨٨ – ٦.٥٤ = ٦٧.٣٤ طرحة شريط

طول الوتر الجزئي الأول = ٦٨ – ٦٧.٣٤ = ٠.٦٦ طرحة = ١٣.٢ متر

هـ ج = ١٧١٨.٩ × ١٣.٢ ÷ ٦٠٠ = ٣٧.٨١

هـ ١ = ١٧١٨.٩ × ٢٠ ÷ ٦٠٠ = ٥٧.٣٠

طول المنحني ق = ٠.٠١٧٤٥ × هـ × نق
= ٠.٠١٧٤٥ × ٣٦" ٢٤' × ٦٠٠ = ٢٥٧.٥٦ متر

طول الضلع رقم ١ = ٢٠ × جا (١٨٠ – ٣٧.٨١) ÷ جا ٥٧.٣٠ = ١٣.٢ متر

طول الضلع رقم ٢=٢٠ ×جا (١٨٠– ٣٧.٨١ + ٢×٥٧.٣٠)÷جا ٥٧.٣٠=٣٣.٢ متر

طول الضلع رقم ٣=٢٠ ×جا (١٨٠– ٣٧.٨١ + ٣×٥٧.٣٠)÷جا ٥٧.٣٠=٥٣.١٨ متر

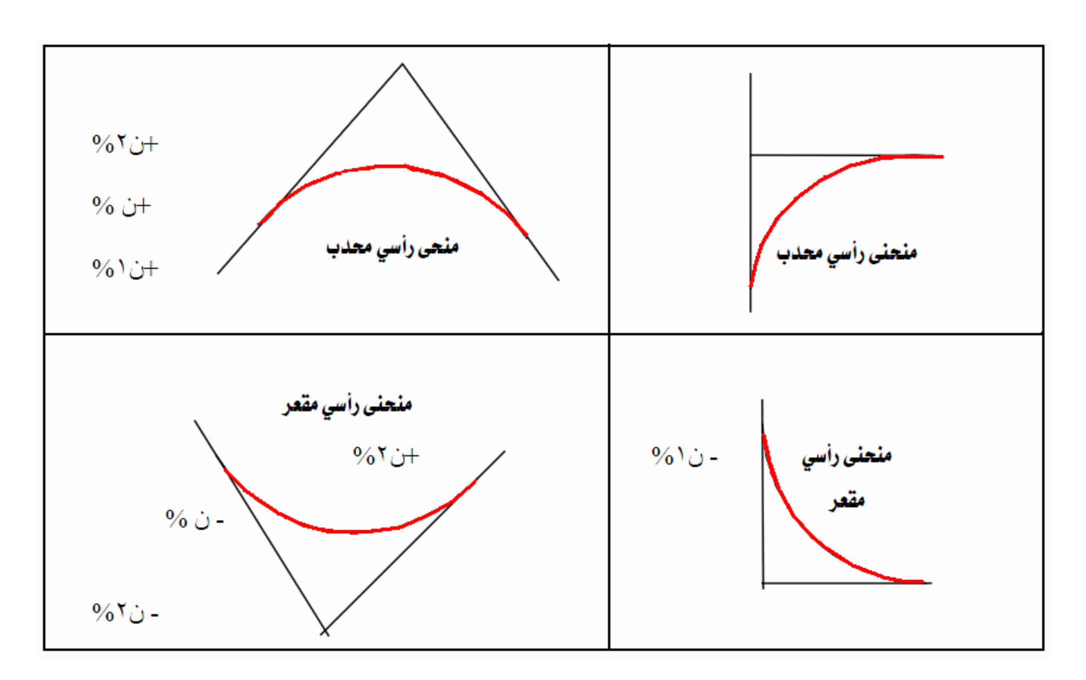
وهكذا حتى الضلع رقم ١٣.

طول الضلع الأخير = ٢٠ جا (١٨٠ – (هـ/٢)) ÷ جا هـ = ٢٥٥.٦٣ متر

النقطة	طول الوتر	زاوية الانحراف	طول الضلع من المحطة الشاملة للنقطة المطلوبة
١	٢٠	٠٠° ٣٧' ٤٨.٦"	١٣.٢
٢	٢٠	٠١° ٣٥' ٦.٦"	٢٣.٢
٣	٢٠	٠٢° ٣٢' ٢٤.٦"	٥٣.١٨
٤	٢٠	٠٣° ٢٩' ٤٢.٦"	٧٣.١٥
٥	٢٠	٠٤° ٢٧' ٠.٦"	٩٣.١٠
٦	٢٠	٠٥° ٢٤' ١٨.٦"	١١٣.٠٣
٧	٢٠	٠٦° ٢١' ٣٦.٦"	١٣٢.٩٣
٨	٢٠	٠٧° ١٨' ٥٤.٦"	١٥٢.٧٩
٩	٢٠	٠٨° ١٦' ١٢.٦"	١٧٢.٦٠
١٠	٢٠	٠٩° ١٣' ٣٠.٦"	١٩٢.٣٧
١١	٢٠	١٠° ١٠' ٤٨.٠"	٢١٢.٠٩
١٢	٢٠	١١° ٠٨' ٦.٦"	٢٣١.٧٤
١٣	٢٠	١٢° ٠٥' ٢٤.٦"	٢٥١.٣٣
١٤	٢٠	١٢° ١٨' ٠٠" = هـ / ٢	٢٥٥.٦٣

٩-٣ المنحنيات الرأسية:

تنقسم المنحنيات الرأسية إلي نوعين: محدبة و مقعرة. بصفة عامة يعتمد طول المنحني علي عدة عوامل مثل: معدل التغير في الانحدار بيم جزئي الطريق ، معدل السرعة علي الطريق ، طبوغرافيا الأرض ، درجة الطريق و نوعه ، مسافة الرؤية.



شكل (٩-٧) أنواع المنحنيات الرأسية

الأجزاء الرئيسية للمنحني الرأسي:

- طول المنحني (ل) وهو الطول الأفقي بين نهايتي المنحني الرأسي.
- معدلا الانحدار (ن١ ، ن٢) كل ١٠٠ متر وتكتبا في صورة نسبة مئوية أو في صورة قيم معلومة لكل مسافة أفقية وبإشارة محددة ، وأحيانا يعبر عن معدلا الانحدار بزاوية فرق الانحدار بين الخطين المستقيمين.
- معدل التغير في الانحدار (م)
- بداية و نهاية المنحني الرأسي هـ ، و
- قمة المنحني ب

طول المنحني:

ل = (ن١ – ن٢) ÷ معدل التغير (م) × ١٠٠   (٩-٢٠)

مع مراعاة إشارات الانحدار: موجبة لأعلي و سالبة لأسفل.

<u>مثال:</u>
يراد توصيل انحدار إلي أعلي قدره ٢.١% و انحدار إلي أسفل قيمته – ٠.٤% بمنحني رأسي بمعدل تغير في الانحدار قيمته ٠.١. فما طول هذا المنحني الرأسي؟

ل = [(ن١ – ن٢) ÷ معدل التغير (م)] × ١٠٠
= [(٢.١ – (-٠.٤)) ÷ ٠.١] × ١٠٠ = ٢٥٠٠ متر

معادلة القطع المكافئ لأي محورين متعامدين (س،ص) هي:

ص = أ س^{٢} + ب س + ج (٩-٢١)

حيث:
أ = تفلطح المنحني فان كانت موجبه فأن المنحني مقعرا وان كانت سالبة فأن المنحني محدبا.

معدل تغير الانحدار:

م = د^{٢} ص ÷ د^{٢} س = ٢ أ = (ن١ – ن٢) ÷ ل (٩-٢٢)

الفرق بين منسوب نقطة علي المنحني الرأسي و منسوب النقطة المقابلة لها علي المماس = المقدار الثابت (أ) × مربع المسافة الأفقية للنقطة من نقطة التماس:

ص$_{ي}$ = أ س$^{٢}_{ي}$
= ص$_{هـ}$ ((س ي)^{٢} ÷ (٠.٥ ل)^{٢})
= (س$^{٢}_{ي}$ (ن١ – ن٢) ÷ ٢ ل (٩-٢٣)

ينصف المنحني الخط الرأسي الواصل بين نقطتي تقاطع المماسين و منتصف الوتر الواصل بين نقطتي التماس:

و ك = ٢ د ج (٩-٢٤)

إذا كانت هـ نقطة الابتداء تعتبر كنقطة الأصل فأن المعامل ج في معادلة القطع (المعادلة ٩-٢١) سيساوي صفر:

معادلة القطع بالنسبة لنقطة التماس:

ص = أ س^{٢} + ب س (٩-٢٥)

العلاقة بين ن١ ، ن٢ ، ل ، ص$_{هـ}$ هي:

ص$_{هـ}$ = (ن١ - ن٢) × (ل÷ ٨) (٩-٢٦)

مثال:

منحني رأسي يصل بين انحدارين ن١ = - ١% ، ن٢ = + ١ متر لكل ٣٠٠ متر. فإذا كان منسوب المنحني عند منصف طوله يبلغ ١١٩.٣٥٠ متر ومنسوب نقطة تقاطع الانحدارين يساوي ١١٨.٩٥ متر. أحسب طول المنحني؟

ص هـ = - ١١٩.٣٥٠ + ١١٨.٩٥٠ = - ٠.٤٠ متر.

من المعادلة (٩-٢٦):

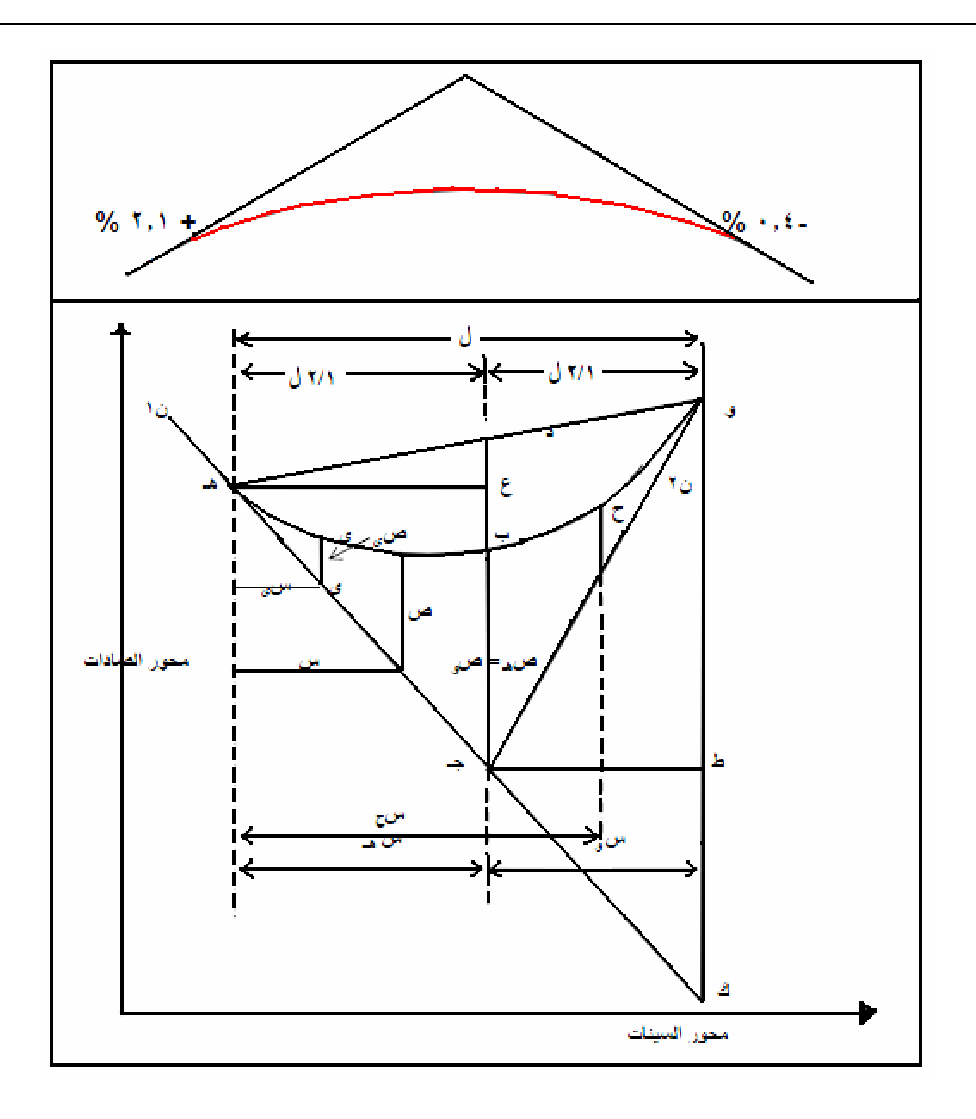
ص هـ = (ن١ - ن٢) × (ل÷ ٨)

أي أن:

ل = ٨ ص هـ ÷ (ن١ - ن٢)
= ٨ × (- ٠.٤) ÷ (-١ – ٣/١) (عبرنا عن ن٢ بقيمة ٣/١ بمئات الأمتار)
= (- ٣.٢٠) ÷ (-١.٣٣٣٣٣٣)
= ٢.٤ بمئات الأمتار
= ٢٤٠ متر

لحساب مناسيب نقاط المنحني (أنظر الشكل التالي):

١. نوجد منسوب أول وآخر نقطة (هـ ، و) علي المنحني بمعلومية معدل الانحدارين (ن١،ن٢) ومنسوب و
٢. نأتي بمنسوب د:
منسوب د = ٠.٥ (منسوب هـ + منسوب و)
٣. منسوب ب (علي المنحني) = ٠.٥ (منسوب د + منسوب نقطة التقاطع ج)
٤. المسافة ص هـ = منسوب ج – منسوب ب
٥. لحساب منسوب أي نقطة علي المنحني: ص هـ = أ س^{٢} هـ = أ (ل^{٢}/٤)
٦. يقسم المنحني إلي أقسام متساوية بحيث تكون نقطة ج نهاية أحد الأقسام وفي منتصف المنحني ، فإذا أعتبرنا هذه الأقسام هي وحدات الاحداثي السيني فيمكن الحصول علي المقدار الثابت أ.
٧. بالتعويض بالقيم المختلفة للمقدار (س) في المعادلة ص = أ س^{٢} نحصل علي قيم ص المقابلة ، وبطرح هذه القيم من مناسيب خط الانحدار نحصل علي مناسيب النقاط المختلفة علي المنحني الرأسي ، كما يمك تحقيق هذه القيم بإيجاد منسوب نقطة هـ.



شكل (٩-٨) أجزاء المنحني الرأسي

لتعيين أعلي نقطة أو أدني نقطة علي المنحني:

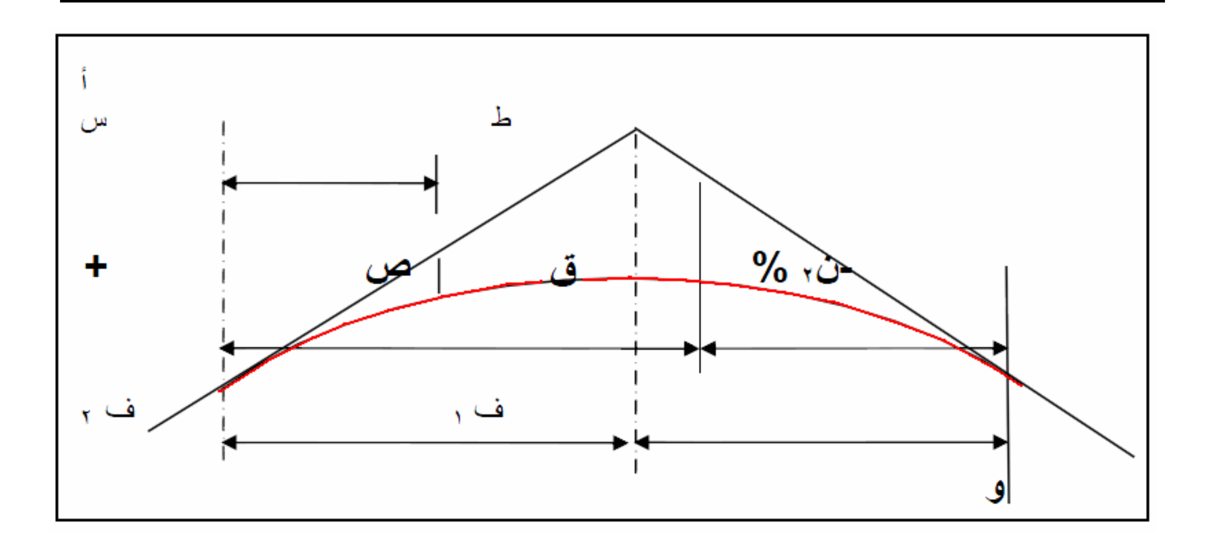
المسافة من أول المنحني حتى أعلي أو أدني نقطة:

ف = (ل ن١) ÷ (ن١ – ن٢) (٩-٢٧)

المسافة من نهاية المنحني حتى أعلي أو أدني نقطة:

ف = (ل ن٢) ÷ (ن١ – ن٢) (٩-٢٨)

منسوب قمة المنحني = منسوب ط (علي المماس) – ص ق (٩-٢٩)



شكل (٩-٩) إيجاد أعلي نقطة علي المنحني الرأسي

مثال:

لو كان انحدار المماسين لمنحني رأسي هما + ٣.٠٠% ، - ٢.٠٠% وطول المنحني ٤٠٠ متر ، أوجد أعلي نقطة علي هذا المنحني.

ف = (٤ × ٣) ÷ (٣ – (-٢)) = ٢.٤ بمئات الأمتار

ف١ = (٤ × ٢) ÷ (٣ – (-٢)) = ١.٦ بمئات الأمتار.

مثال لتخطيط المنحني الرأسي:

أوجد مناسيب النقاط المختلفة كل ٥٠ متر والواقعة علي المنحني الرأسي الذي يصل بين انحدارين +٣.٢% ، -٢.٥% علما بأن منسوب نقطة تقاطع الانحدارين هو ١٧١.٤٠ متر و طول المنحني ٤٠٠ متر.

منسوب نقطة التماس أ = ١٧١.٤٠ – ((٣.٢/١٠٠) × ٢٠٠) = ١٦٥.٠٠ متر

منسوب نقطة التماس ج = ١٧١.٤٠ – ((٢.٥/١٠٠) × ٢٠٠) = ١٦٦.٤٠ متر

نحسب مناسيب النقاط (من ١ إلي ٨) التي تقع علي المماس أ ب أو امتداده وعلي مسافات ملا منها يبلغ ٥٠ مترا ، أي النقاط التي تقع مباشرة فوق نقاط المنحني المراد إيجاد مناسبها.

منسوب أول نقطة علي المماس = ١٦٥.٠٠ + (٣.٢/١٠٠) × بعد النقطة عن أ
= ١٦٥.٠٠ + (٣.٢×١٠٠) × ٥٠ × عدد المحطات للنقطة
= ١٦٥.٠٠ + ١.٦ × عدد المحطات للنقطة

وهذا هو العمود ٢ في الجدول التالي.

منسوب نقطة د (منتصف الوتر أ ج) = ٠.٥ (١٦٥.٠٠ + ١٦٦.٤٠) = ١٦٥.٧٠ متر

منسوب نقطة هـ (منتصف المنحني) = ٠.٥ (١٧١.٤٠ + ١٦٥.٧٠) = ١٦٨.٥٥ متر

كما يمكن (للتحقيق) إيجاد منسوب هـ كالتالي:

ص هـ = ((٣.٢ – (-٢.٥) × ٤) / ٨ = ٢.٨٥ متر

منسوب هـ = ١٧١.٤٠ – ٢.٨٥ = ١٦٨.٥٥ متر

نحسب قيمة الثابت أ:

١٧١.٤٠ – ١٦٨.٥٥ = أ × $(٤)^{٢}$

وذلك باعتبار أم ل / ٢ = ٤ فترات كلا منها تساوي ٥٠ متر.

إذن: أ = ٠.١٧٨١

نحسب ص = أ $س^{٢}$ للنقاط (العمود ٣ من الجدول التالي) وقد تم إعطاء كل إحداثي إشارة سالبة حيث أنها سوف تطرح من منسوب النقطة المقابلة علي المماس لكي تنتج مناسيب النقاط علي المنحني (العمود ٤).

التحقيق الحسابي:

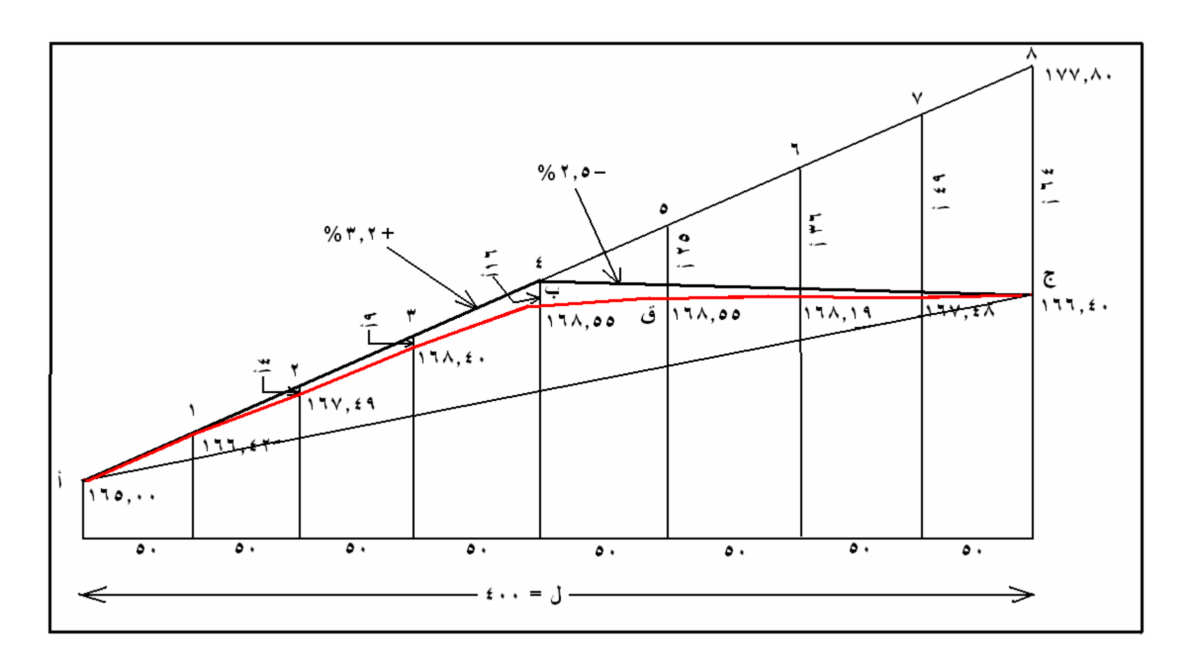
تحت الفروق الثانية (العمود ٥) يجب أن تكون متساوية ويجب مراعاة الإشارات عند إيجاد هذه الفروق.

المسافة الأفقية:

ف = ٤٠٠ × ٣.٢ / (٣.٢ + ٢.٥) = ٢٢٤.٦ متر

منسوب قمة المنحني:

ق = ١٦٥.٠٠ + ((٣.٢/١٠٠) × ٢٢٤.٦) – (٠.١٧٨١ × $(٢٣٤.٦)^{٢}$ / $(٥٠)^{٢}$)
= ١٦٥.٠٠ + ٧.١٩ – ٣.٥٩
= ١٦٨.٦٠ متر



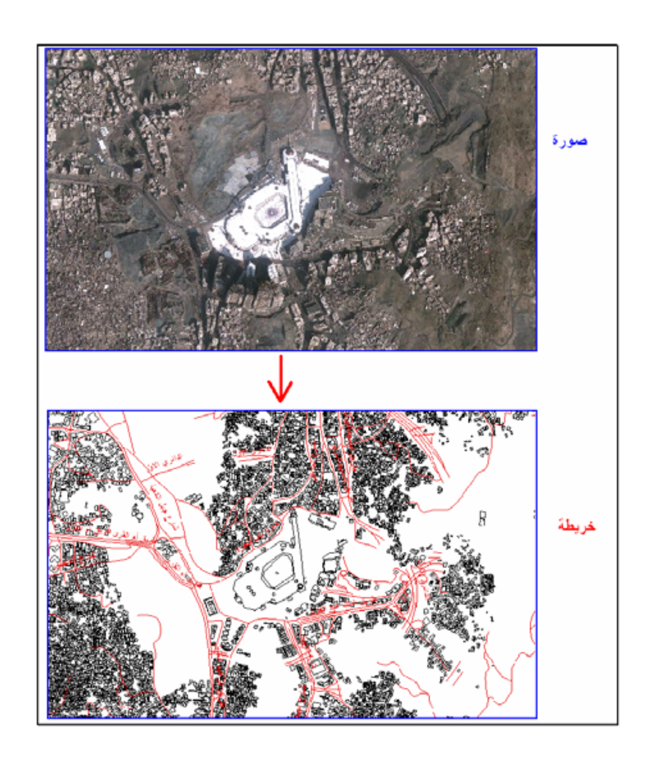
شكل (٩-١٠) مثال للمنحني الرأسي

نقطة	المسافة	المناسيب علي المماس	الاحداثي ص = أس^{٢}	المناسيب علي المنحني	فروق المناسيب	
					الأولي	الثانية
صفر	صفر	١٦٥.٠٠		١٦٥.٠٠		
		١.٦٠	٠.١٧٨ × (١)^{٢}		١.٤٣	
١	٥٠	١٦٦.٦٠ -	٠.١٧٨	١٦٦.٤٢		٠.٣٥
		١.٦٠	٠.١٧٨ × (٢)^{٢}		١.٠٧	
٢	١٠٠	١٦٨.٢٠ -	٠.٧١٢	١٦٧.٤٩		٠.٣٦
		١.٦٠	٠.١٧٨ × (٣)^{٢}		٠.٧١	
٣	١٥٠	١٦٩.٨٠ -	١.٦٠٢	١٦٨.٢٠		٠.٣٦
		١.٦٠	٠.١٧٨ × (٤)^{٢}		٠.٣٥	
٤	٢٠٠	١٧١.٤٠ -	٢.٨٤٨	١٦٨.٥٥		٠.٣٥
		١.٦٠	٠.١٧٨ × (٥)^{٢}		٠.٠٠	
٥	٢٥٠	١٧٣.٠٠ -	٤.٤٥١	١٦٨.٥٥		٠.٣٦
		١.٦٠	٠.١٧٨ × (٦)^{٢}		٠.٣٦	
٦	٣٠٠	١٧٤.٦٠ -	٦.٤٠٨	١٦٨.١٩		٠.٣٥
		١.٦٠	٠.١٧٨ × (٧)^{٢}		٠.٧١	
٧	٣٥٠	١٧٦.٢٠ -	٨.٧٢٢	١٦٧.٤٨		٠.٣٦
		١.٦٠	٠.١٧٨ × (٨)^{٢}		٠.٠٧	
٨	٤٠٠	١٧٧.٨٠ =	١١.٣٩٢	١٦٦.٤١		

الفصل العاشر

المساحة التصويرية

تم استنباط كلمة Photogrammetry في أواخر القرن التاسع عشر الميلادي وهي كلمة من مقطعين: Photo بمعني صورة و grammmetry بمعني القياس ، وبذلك فأن هذه الكلمة تعني "القياس من الصور" ، وبالتالي فأن المساحة التصويرية Photogrammetry هي علم القياس من الصور.



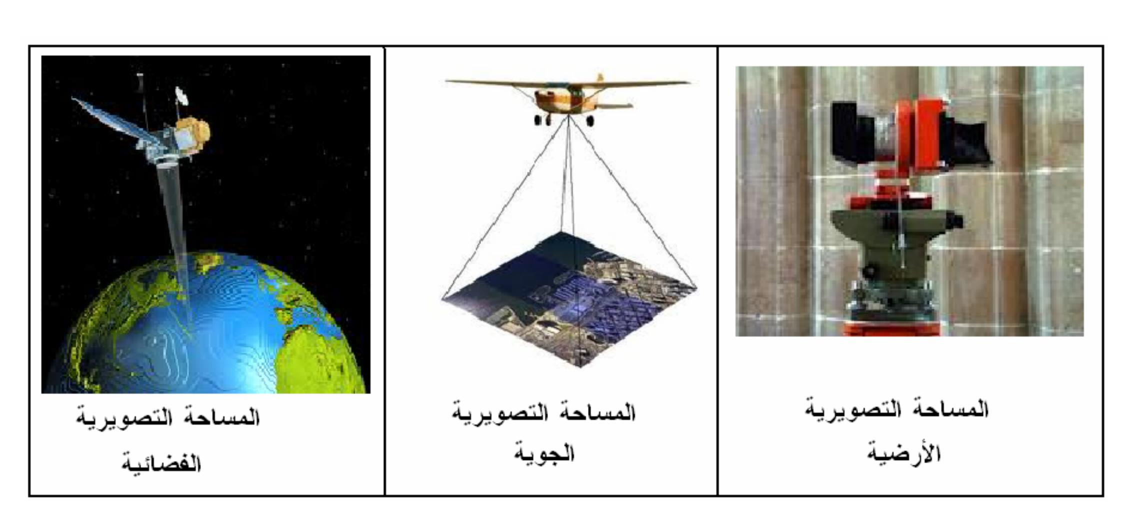
شكل (١٠-١) المساحة التصويرية

١٠-١ تاريخ وأقسام المساحة التصويرية:

عرف الإنسان فكرة التصوير بصفة عامة منذ فترة طويلة جدا (قبل الميلاد) إلا أن أول صورة فوتوغرافية بالمعني المعروف تم إنتاجها في فرنسا في عام ١٨٢٦م علي يد جوزيف نيبيس Joeswph Niepce. وفي عام ١٨٥٩م قام المهندس الفرنسي لويزداه Laussedat بعمل أول تجربة لالتقاط صور من الجو من خلال كاميرا موضوعة في منطاد (بالون) وعمل خرائط منها لأجزاء من مدينة باريس. وقد عرف لويزداه بأنه رائد علم المساحة التصويرية.

مع اختراع الطائرة علي يد الأخوان رايت Wright في عام ١٩٠٣م بدأت فكرة وضع الكاميرا في الطائرات بهدف رسم خريطة - لمنطقة كبيرة - من هذه الصور. وأخذت أول صورة من طائرة في احدي مناطق ايطاليا في عام ١٩٠٩م. ومع بدء الحرب العالمية الأولي زادت أهمية التصوير الجوي Aerial Photogrammetry بهدف الاستطلاع و الأعمال المخابراتية لمواقع العدو ، لكن علم المساحة التصويرية قد تطور تقنيا بسرعة وزادت الحاجة إليه أثناء الحرب العالمية الثانية. مع اختراع الكمبيوتر في نهاية الخمسينات من القرن العشرين الميلادي قفز علم المساحة التصويرية خطوات واسعة في عمليات القياس من الصور الجوية ومن ثم

إنتاج خرائط منها. كما طور المتخصصين في علم المساحة آلات تصوير (كاميرات) توضع علي الأرض بغرض إنتاج الخرائط منها وهو ما عرف بأسم المساحة التصويرية الأرضية Terrestrial Photogrammetry. مع ظهور الأقمار الصناعية في ١٩٥٧م بدأ وضع كاميرات عالية الدقة بها لتصوير معالم سطح الأرض بقدرة وضوح عالية ومن ثم بدأ ظهور ما يمكن أن نطلق عليه فرع التصوير الفضائي Satellite Photogrammetry أو ما يعرف الآن بأسم الاستشعار عن بعد Remote Sensing.



شكل (١٠-٢) أنواع المساحة التصويرية

تستخدم المساحة التصويرية في العديد من التطبيقات تشمل علي سبيل المثال الآتي:

- إنشاء الخرائط بدقة عالية و سرعة مناسبة.
- إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية لتمثيل طبوغرافية سطح الأرض.
- دراسة تحركات المنشئات الضخمة مثل السدود و القناطر.
- عمل الخرائط الجيولوجية ودراسات معالم سطح الأرض (الجيومورفولوجيا).
- إعداد المخططات و الخرائط الطبوغرافية.
- حصر أنواع الزراعات و مساحتها ودراسة أنواع التربة.
- تخطيط المشروعات مثل الطرق و السكك الحديدية.
- دراسات الموارد المائية ومصادر المياه.
- التطبيقات العسكرية و أعمال المخابرات.

للمساحة التصويرية العديد من المميزات التي تجعلها من أهم التطبيقات المساحية الحديثة ومنها:

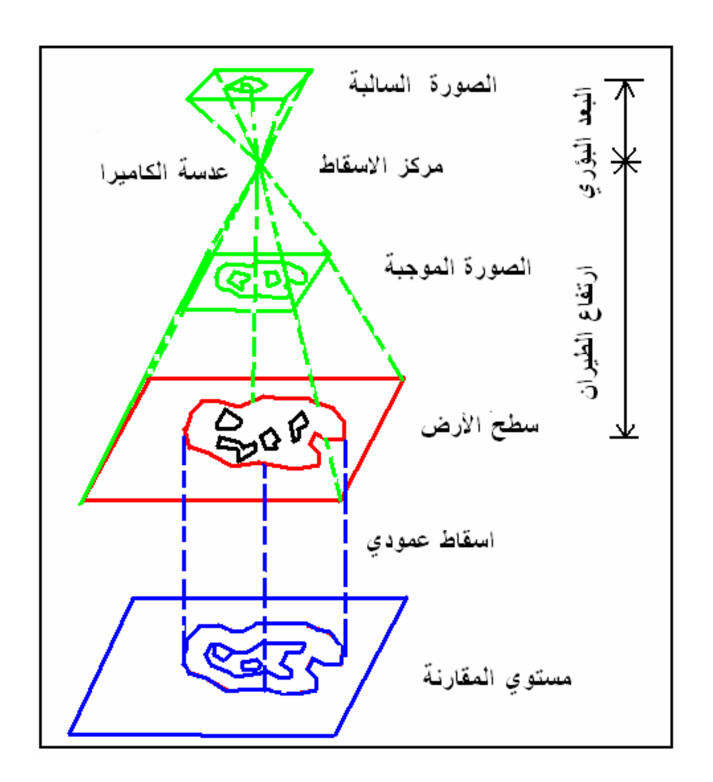
- الدقة العالية في إنتاج أو تحديث الخرائط التي تعادل دقة المساحة الأرضية في العديد من التطبيقات.
- السرعة في إتمام العمل مقارنة بالوقت المستغرق في العمل الحقلي للمساحة الأرضية.
- اتساع حجم التغطية للصور الملتقطة مما يؤدي لإنتاج خرائط لمناطق شاسعة في وقت زمني قليل.
- التكلفة الاقتصادية المنخفضة.
- الوصول لمناطق بعيدة يصعب الوصول إليها.

– إمكانية التصوير الدوري لمتابعة انتشار ظاهرة معينة.
– عدم التأثر بالظروف المناخية (إلا في وقت التصوير ذاته) طوال فترة المشروع.

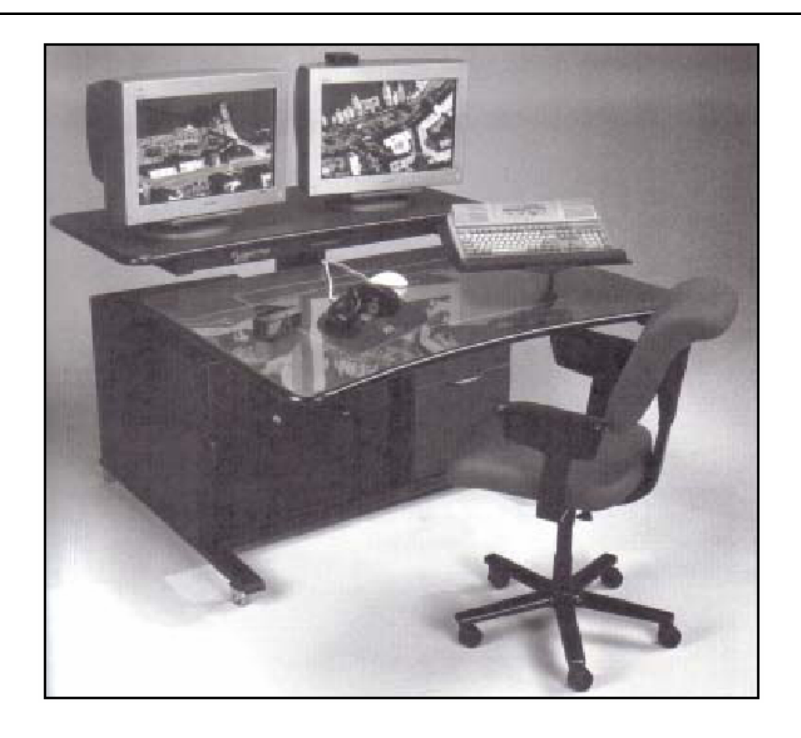
١٠-٢ مبادئ التصوير الجوي:

١٠-٢-١ الصورة الجوية و الخريطة:

الصورة الجوية هي قطاع ناتج من تقاطع مستوي مع حزمة من الأشعة صادرة من نقطة الهدف ، أي أن الإسقاط للصور الجوية من نوع الإسقاط المركزي. بينما الخريطة قطاع أفقي ناتج من تقاطع مستوي مع أشعة إسقاط عمودية علي هذا المستوي ، أي أن مسقط الخريطة هو إسقاط عمودي. من خلال أجهزة و طرق المساحة التصويرية يمكن تحديد الإحداثيات ثلاثية الأبعاد (س ، ص ، ع) لكل نقطة ظاهرة علي الصورة الجوية – بعد عمل عدة تصحيحات عليها - ومن ثم يمكن إنتاج الخرائط لهذه المنطقة الجغرافية. ويتم ذلك بأجهزة تسمي محطة العمل التصويرية Photogrammetric Workstation.



شكل (١٠-٣) الصورة الجوية و الخريطة



شكل (١٠-٤) جهاز محطة العمل التصويرية

١٠-٢-٢ أنواع الصور الجوية:

طبقا لوضع الكاميرا أثناء التصوير فهناك ثلاثة أنواع من الصور الجوية:

١- الصور الرأسية **Vertical Photographs**:

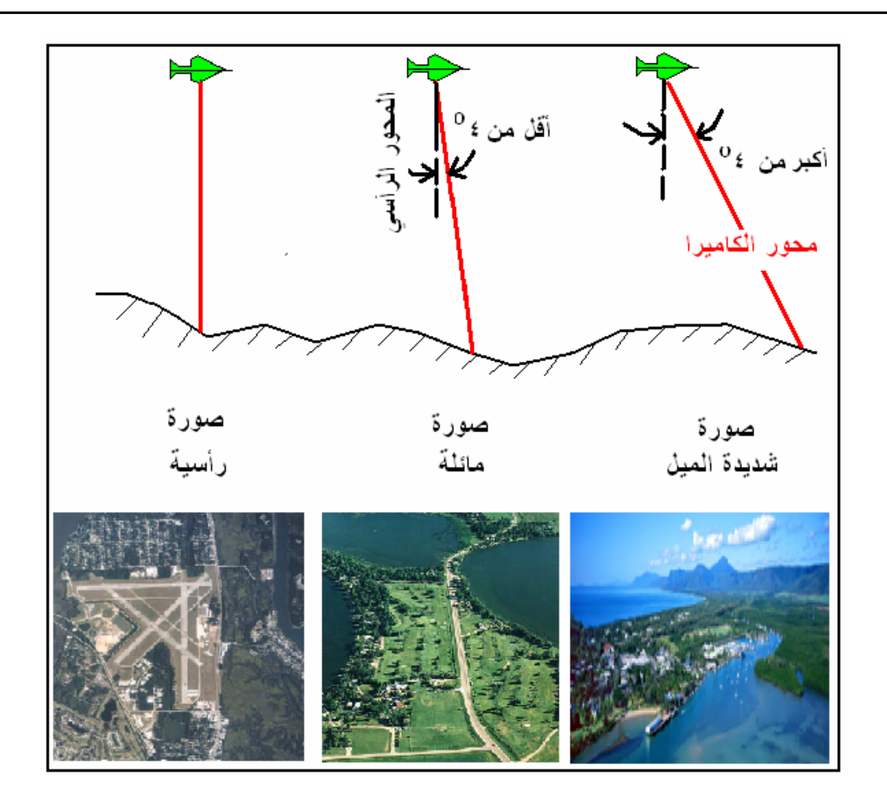
يكون بها محور الكاميرا عمودي علي سطح الأرض ، وهذا هو نوع الصور الجوية المستخدم في إنتاج الخرائط حيث يكون مسقط الصورة أقرب ما يكون إلي المستوي أو المسقط الأفقي الذي تعتمد عليه الخرائط. تتميز الصور الرأسية بسهولة القياس منها وأيضا بسهولة تمييز المعالم بها لأنها تظهر بشكل يماثل الحقيقي في الطبيعة.

٢- الصور المائلة **Tilted Photographs**:

يميل محور الكاميرا بها ميلا خفيفا (لا يتجاوز أربعة درجات) عن المحور الرأسي ، ويمكن تحويله في المعمل من خلال أجهزة خاصة إلي صور رأسية لاستخدامها في إنتاج الخرائط.

٣- الصور شديدة الميل أو الصور الميالة **Oblique Photographs**:

حيث يميل محور الكاميرا ميلا كبيرا عن المحور الرأسي وغالبا يظهر خط الأفق في هذه النوعية من الصور الجوية. من مميزات الصور شديدة الميل أنها تغطي مساحة كبيرة من سطح الأرض إلا أن استخدامها الأساسي هو تفسير أنواع المعالم الجغرافية الظاهرة ولا تستخدم في إنتاج الخرائط.



شكل (١٠-٥) أنواع الصور الجوية طبقا لوضع الكاميرا

١٠-٢-٣ أجهزة التصوير الجوي:

لا تختلف فكرة الكاميرا المستخدمة في التصوير الجوي كثيرا عن الكاميرا العادية إلا أنها تتميز بمواصفات تقنية عالية للوصول إلي دقة ووضوح عالي عند التقاط الصور. فيجب أن تتمتع كاميرات التصوير الجوي بالمواصفات التالية:

- عدسة خالية من التشوه بأنواعه.
- قدرة عالية علي إظهار التفاصيل.
- استواء تام للفيلم طوال التصوير.
- التحكم الدقيق في كمية الضوء الداخل للعدسة.
- تشغيل ألي بكفاءة كبيرة.
- تسجيل المعلومات الأساسية علي الصورة نفسها (مثل ارتفاع الطيران ووقت التصوير ورقم الصورة وفقاعة التسوية).

تتكون كاميرا التصوير الجوي من الأجزاء الرئيسية التالية:

<u>مجموعة العدسات و ملحقاتها:</u>

تشمل المجموعة كلا من: العدسة (سواء عدسة بسيطة أو عدسة مركبة من مجموعة عدسات)، الحاجب الذي ينظم كمية الضوء المار بالعدسة ، الغالق الذي يتحكم في الفترة الزمنية التي يسمح للضوء فيها بالمرور خلال العدسة ، المرشح لزيادة درجة وضوح المعالم الأرضية. .

<u>مخروط الكاميرا:</u>

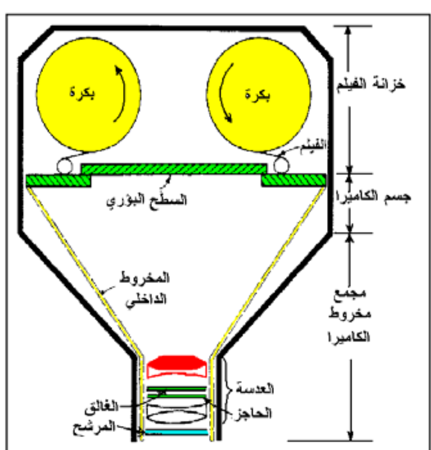
هو الجزء الذي يربط بين مجموعة العدسات ويجعلها علي مسافة معينة من اللوح السالي : كما أمه يمنع الضوء عن الفيلم أو اللوح السالب.

<u>جسم الآلة:</u>

يشمل الموتور و الأجزاء الميكانيكية و الكهربائية اللازمة لإدارة الكاميرا ، كما أنه الصلة بين المخروط و خزان (أو خزانة أو مخزن) الفيلم.

<u>مخزن الفيلم:</u>

يحتوي بكرتين لشريط الفيلم الحساس أحداهما تحتوي الفيلم الخام والأخرى للفيلم بعد أخذ الصور.





شكل (١٠-٦) الكاميرا الجوية

توجد عدة أنواع من كاميرات التصوير الجوي مثل: (١) الكاميرا ذات العدسة الواحدة والتي تسمي أيضا كاميرا الخرائط أو الكاميرا المترية أو الكاميرا الكارتوجرافية وهي أكثر الأنواع استخداما في التصوير الجوي بهدف إنتاج الخرائط، (٢) الكاميرا متعددة العدسات والتي تكون بها كل عدسة مرتبطة بفيلم له حساسية لنوع معين من الضوء مما يسمح بالحصول علي عدة صور لنفس الهدف في عدة نطاقات من الطيف، (٣) كاميرا تصوير الشرائح لالتقاط الصور المستمرة ، (٤) كاميرا التصوير البانورامية المستخدمة في الاستطلاع و الاستكشاف بحيث تغطي الصور من خط الأفق إلي خط الأفق العمودي علي اتجاه الطيران. .

توجد أجهزة مساعدة تستخدم في التصوير الجوي منها: جهاز تعيين ارتفاع الطيران ، جهاز شد الفيلم ، جهاز التحكم في الفترة الزمنية بين كل صورتين ، جهاز تثبيت الكاميرا ، جهاز تحديد وقياس ميل الطائرة.

بالرجوع للفصل الثالث (شكل ٣-٩) فأن الضوء في الغلاف الجوي ينتشر علي هيئة منحني أقرب ما يكون لمنحني جيب الزاوية sinusoidal curve المعروف الذي يحدد طول الموجة الواحدة wavelength (نرمز لها بالرمز λ) وزاوية الطور Phase angle التي تبلغ ٣٦٠° درجة للدورة الكاملة (نرمز لها بالرمز θ). وبناءا علي طول الموجة فيمكن تقسيم الضوء إلي عدة أنواع منها علي سبيل المثال:

أشعة الراديو والتلفزيون:	طول الموجة لها اكبر من ١ متر.
أشعة الميكروويف:	يتراوح طول الموجة بين ١ – ١٠٠ سنتيمتر.
الضوء المرئي:	يتراوح طول الموجة بين ٠.٣٨ – ٠.٧٢ ميكرومتر.
الأشعة الحمراء القريبة:	يتراوح طول الموجة بين ٠.٧٢ – ١.٣٠ ميكرومتر.
الأشعة تحت الحمراء المتوسطة:	يتراوح طول الموجة بين ١.٣٠ – ٣.٠٠ ميكرومتر.
الأشعة تحت الحمراء البعيدة:	يتراوح طول الموجة بين ٣.٠٠ – ١٠٠٠ ميكرومتر.
الأشعة فوق البنفسجية:	يتراوح طول الموجة بين ٠.١ – ٠.٤ ميكرومتر.
أشعة جاما:	طول الموجه لها اصغر من ٠.٠٣ نانومتر
أشعة أكس:	يتراوح طول الموجة بين ٠.٠٣ – ٣٠٠ نانومتر.

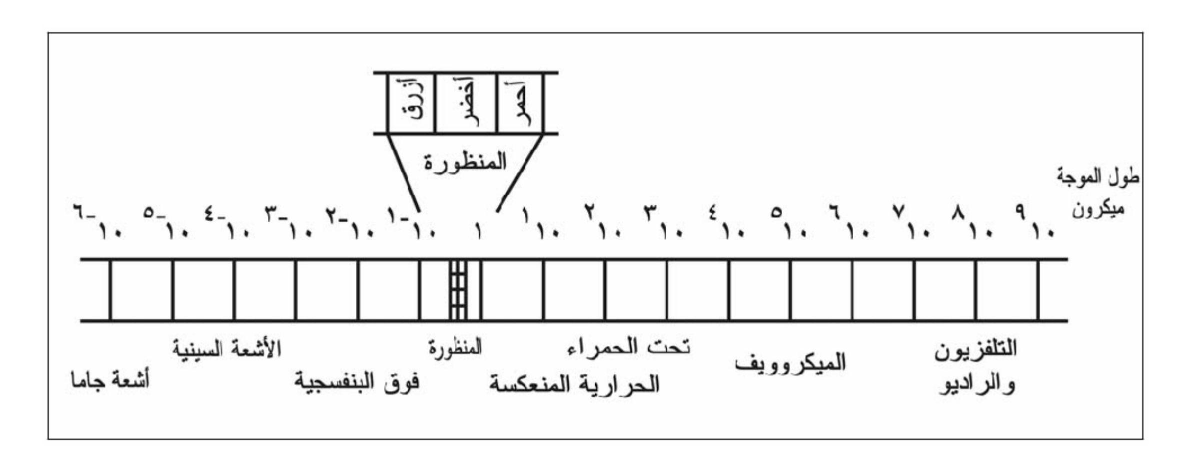
حيث:

ميكرومتر أو الميكرون = جزء من ألف مليون جزء من المتر ، أي ١×١٠^-٩ متر.

النانومتر = جزء من ألف جزء من الميكرومتر ، أي ١×١٠^-١٢ متر.

إما الضوء المرئي (الذي تستطيع عين الإنسان رؤيته) فينقسم إلي عدة ألوان هي:

البنفسجي:	طول الموجة ٠.٣٨ – ٠.٤٥ ميكرون.
الأزرق:	طول الموجة ٠.٤٥ – ٠.٥٠ ميكرون.
الأخضر:	طول الموجة ٠.٥٠ – ٠.٥٨ ميكرون.
الأصفر:	طول الموجة ٠.٥٨ – ٠.٥٩ ميكرون.
البرتقالي:	طول الموجة ٠.٥٩ – ٠.٦٢ ميكرون.
الأحمر:	طول الموجة ٠.٦٢ – ٠.٧٠ ميكرون.



شكل (١٠-٧) الطيف الكهرومغناطيسي

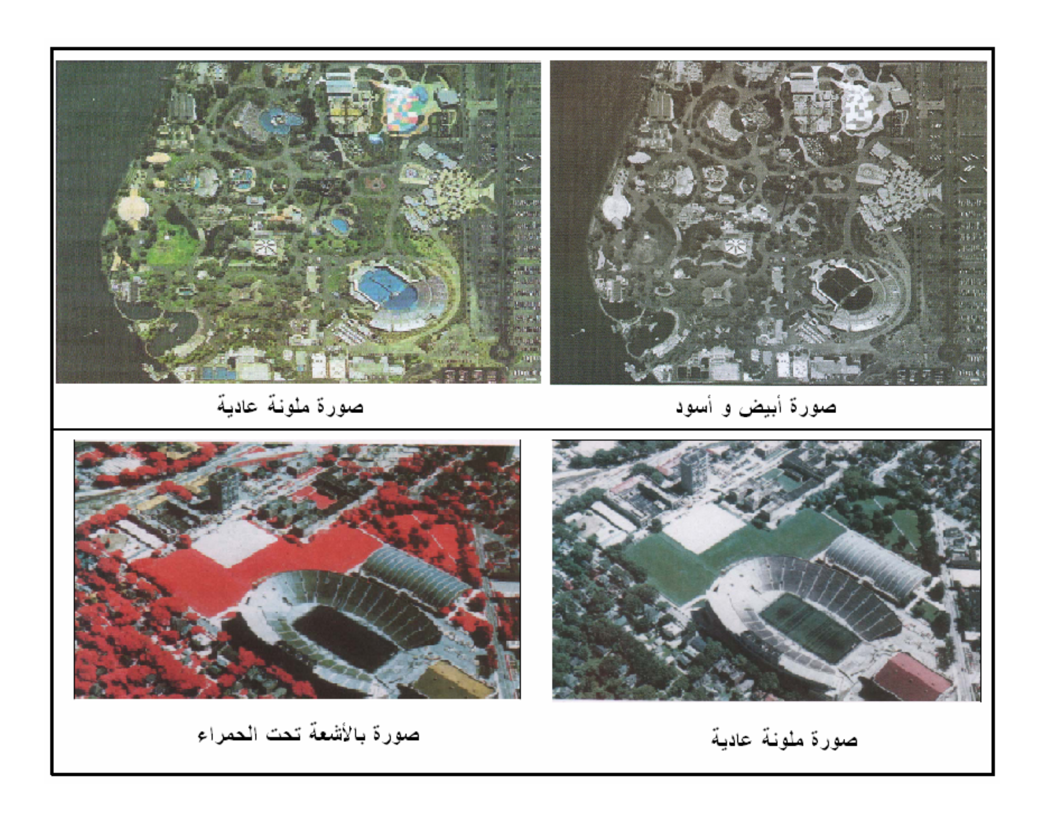
الفيلم هو شريحة من البلاستيك المغطاة بطبقة من مادة نترات الفضة ، وهي المادة التي تتميز بتأثرها أو حساسيتها للضوء طبقا لشدته. تنقسم الأفلام المستخدمة في التصوير الجوي إلي عدة أنواع تشمل:

الفيلم البانكروماتي: الفيلم العادي المستخدم في التصوير الأبيض و أسود ، وهو يتميز بسعره المنخفض.

الفيلم الأبيض و الأسود الحساس للأشعة تحت الحمراء: تمتد حساسية مادة الفيلم لتشمل بالإضافة للضوء المرئي الأشعة تحت الحمراء أيضا. تستخدم هذه النوعية من الأفلام في التعرف علي جودة و صحة النباتات حيث تظهر النباتات ذات الأوراق الممتلئة بالكلورفور تظهر بلون أبيض بينما النباتات المريضة تظهر بلون داكن.

الفيلم الملون العادي: حيث تظهر المعالم الطبيعية في الصورة بألوانها الطبيعية المعتادة ، وقديما كان سعر الأفلام الملونة مرتفعا ولم تكن هذه الأفلام منتشرة بكثرة في تطبيقات التصوير الجوي إلا أنها أصبحت الآن أكثر استخداما.

الفيلم الملون الحساس للأشعة تحت الحمراء:وتسمي أيضا الأفلام الملونة الكاذبة حيث تظهر المعالم الخضراء بلون ازرق علي الصورة باستثناء النباتات كما تظهر المعالم الحمراء بلون اخضر علي الصورة وتظهر الأهداف التي لا تراها عين الإنسان (خارج نطاق الضوء المرئي) بلون أحمر علي الصورة. يستخدم هذا النوع من الأفلام في التطبيقات الزراعية لتحديد أنواع و أمراض النباتات.



شكل (١٠-٨) أنواع الصور طبقا للأفلام المستخدمة

١٠-٢-٤ القياسات من الصور الجوية:

١٠-٢-٤-١حساب مقياس رسم الصورة الجوية:

يمكن حساب مقياس رسم الصورة الجوية (قبل القياس منها) بعدة طرق طبقا للمعلومات المتوفرة:

مقياس رسم الصورة عند أي نقطة = البعد البؤري للكاميرا ÷
(ارتفاع الطيران – منسوب النقطة) (١٠-١)

مقياس الرسم المتوسط للصورة = البعد البؤري للكاميرا ÷
(ارتفاع الطيران – المنسوب المتوسط للمنطقة) (١٠-٢)

مثال:

أحسب أصغر وأكبر مقياس رسم وكذلك مقياس الرسم المتوسط عند تصوير منطقة تتراوح مناسيبها بين ١٠٠٠ متر و ٢٠٠٠ متر فوق سطح البحر إذا علمت أن الصور مأخوذة بكاميرا بعدها البؤري ٤ سنتمترات وأن ارتفاع الطيران يبلغ ١٠٠٠٠ متر فوق سطح البحر.

أصغر مقياس رسم = ٠.٠٤ ÷ (١٠٠٠٠ – ١٠٠٠) = ١ : ٢٢٥٠٠

أكبر مقياس رسم = ٠.٠٤ ÷ (١٠٠٠٠ – ٢٠٠٠) = ١ : ٢٠٠٠٠

متوسط مناسيب المنطقة = (١٠٠٠+٢٠٠٠)÷٢ = ١٥٠٠ متر

مقياس الرسم المتوسط = ٠.٠٤ ÷ (١٠٠٠٠ – ١٥٠٠) = ١ : ٢١٢٥٠

أو:

مقياس الرسم المتوسط = [(١/٢٠٠٠٠) + (١/٢٢٥٠٠)] / ٢ = ١ : ٢١٢٥٠

كما يمكن حساب مقياس رسم الصورة الجوية كالتالي:

مقياس الرسم = المسافة علي الصورة ÷ المسافة علي الأرض (١٠-٣)

مثال:

قيس طريق علي صورة جوية رأسية ووجد أن طوله يبلغ ٥ سنتيمترات بينما طوله الحقيقي علي الأرض يساوي ١٤٠٠ متر. أحسب مقياس رسم هذه الصورة الجوية.

مقياس الرسم = ٠.٠٥ متر / ١٤٠٠ متر = ١ : ٢٨٠٠٠

في حالـة معرفـة إحداثيات أرضـية لنقطتـين يمكـن حساب المسافة علـي الأرض بينـهمـا وقيـاس المسافة بينهما علي الصورة ، ومن ثم حساب مقياس الرسم:

مقياس الرسم = المسافة علي الصورة ÷ جذر $(\text{ص}_{٢}-\text{ص}_{١})^{٢}$ +$(\text{س}_{٢}-\text{س}_{١})^{٢}$)   (١٠-٤)

<u>مثال:</u>

قيست المسافة بين النقطتين أ ، ب علي الصورة الجوية وبلغت ٣٠ ملليمتر ، وكانت الإحداثيات الأرضية لنقط أ هي (٥٦٤٠ ، ٢٧٠٠) ولنقطـة ب هـي (٥٤٤٠ ، ٢٤٠٠) متـر. أحسب مقيـاس رسم الصورة الجوية.

مقياس الرسم = ٠.٠٣٠ / جذر ((٢٤٠٠-٢٧٠٠)^{٢} + (٥٤٤٠-٥٦٤٠)^{٢}) = ١ : ١٢٠١٩

أو بطريقة أخري:

المسافة علي الأرض = جذر ((٢٤٠٠-٢٧٠٠)^{٢} + (٥٤٤٠-٥٦٤٠)^{٢}) = ٣٦٠.٥٥ متر

مقياس الرسم = ٠.٠٣٠ / ٣٦٠.٥٥ = ١ : ١٢٠١٩

<u>١٠-٢-٤-٢ حساب الإحداثيات الأرضية:</u>

بقياس إحداثيات أي نقطة علي الصورة يمكن حساب إحداثياتها الأرضية كالتالي:

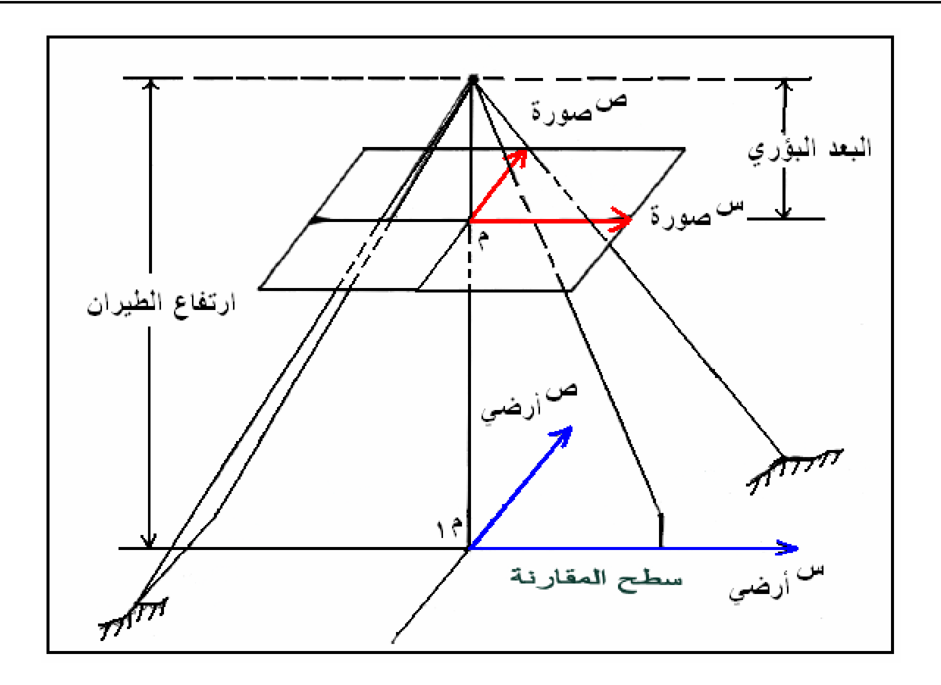
$\text{س}_{\text{أرضي}}$ = $\text{س}_{\text{صورة}}$ × (ارتفاع الطيران – منسوب النقطة) ÷ البعد البؤري   (١٠-٥)

$\text{ص}_{\text{أرضي}}$ = $\text{ص}_{\text{صورة}}$ × (ارتفاع الطيران – منسوب النقطة) ÷ البعد البؤري   (١٠-٦)

حيث:

$\text{س}_{\text{صورة}}$، $\text{ص}_{\text{صورة}}$ هي إحداثيات النقطة علي الصورة

$\text{س}_{\text{أرضي}}$ ، $\text{ص}_{\text{أرضي}}$ هي الإحداثيات الأرضية للنقطة منسوبة لإحداثيات مسقط مركز الصورة علـي الأرض. فـإذا علمنـا الإحـداثيات الأرضـية الحقيقيـة لهـذه النقطـة (بالنسبة لنظـام إحـداثيات الخرائط في دولة معينة) يمكن حساب الإحداثيات الحقيقية للنقطة المطلوبة.



شكل (١٠-٩) الإحداثيات الأرضية وإحداثيات الصورة الجوية

مثال:

أحسب الإحداثيات الأرضية لنقطة أ التي ظهرت علي الصورة الجوية عند إحداثيات (-٤٠.٦٤، -٤٣.٨٨) ملليمتر إذا علمت أن ارتفاع الطيران بلغ ١٣٨٠ متر فوق مستوي سطح البحر وأن منسوب نقطة أ يساوي ١٥٠ متر فوق مستوي سطح البحر وأن البعد البؤري للكاميرا المستخدمة هو ١٥٢.٤ ملليمتر.

س أرضي = -٠.٠٤٠٦٤ × (١٣٨٠ – ١٥٠) ÷ ٠.١٥٢٤ = - ٣٢٨.٠٠ متر

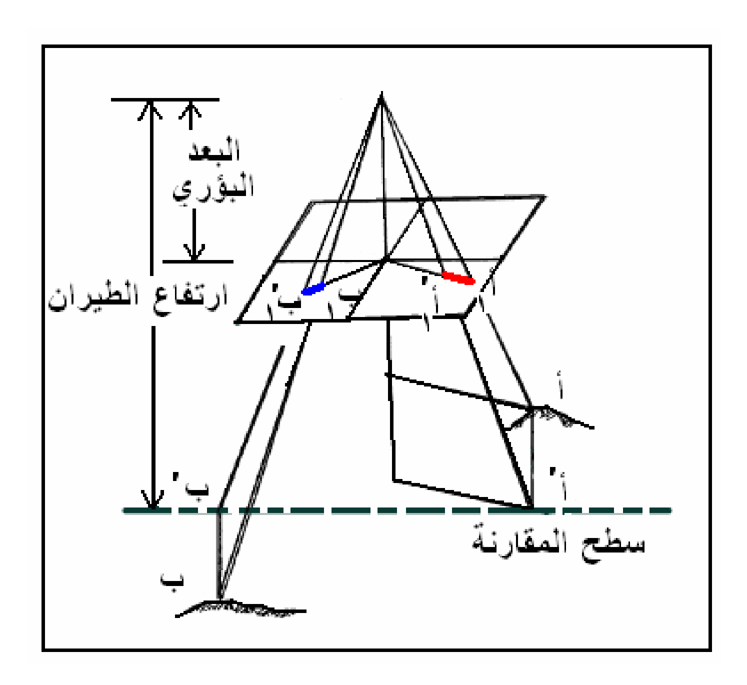
ص أرضي = ٠.٠٤٣٨٨ × (١٣٨٠ – ١٥٠) ÷ ٠.١٥٢٤ = - ٣٥٤.١٥ متر

١٠-٢-٤-٣ حساب الإزاحة:

تعد الإزاحة Displacement أهم الاختلافات بين الصور الجوية و الخرائط فالخريطة ناتجة عن إسقاط عمودي بينما إسقاط الصور الجوية يعد إسقاطا مركزيا أو إسقاطا مخروطيا (أرجع للشكل ١٠-٣). لذلك فأن الحصول علي الخريطة لا يكون بمجرد الشف من الصور الجوية مباشرة. توجد عدة أسباب وراء حدوث الإزاحة لكن أهمها هو اختلاف المناسيب بين المعالم الجغرافية (بالإضافة لاختلاف مقياس الرسم من نقطة لآخري وعيوب العدسات والأفلام).

تتأثر مواقع النقاط في الصورة الجوية باختلاف مناسيبها حيث أن سطح الأرض غير مستوي مما يجعل النقاط الظاهرة في الصورة الجوية منزاحة أو متحركة عن موقعها الحقيقي الذي يظهر في الخريطة ، وهو ما يطلق عليه الإزاحة التضاريسية Relief Displacement. في الشكل التالي فأن النقطة أ علي سطح الأرض يكون مسقطها علي مستوي المقارنة (منسوب سطح البحر) في النقطة أ' وهي التي تمثل موقعها الحقيقي علي الخريطة. تظهر النقطة أ في الصورة الجوية عند أ, بينما موقعها الحقيقي (لو تخيلنا أن النقطة أ' ستظهر في الصورة)

سيكون عند النقطة أ١'. أي أن النقطة الظاهرة علي الصورة الجوية منزاحة عن موقعها الحقيقي بمسافة أ١ – أ١' ، ويكون اتجاه هذه الإزاحة (للنقطة ذات المنسوب الموجب) باتجاه مركز الصورة الجوية. أما نقطة ب (التي تقع أسفل مستوي سطح البحر) فأنها تظهر في الصورة الجوية عند النقطة ب١ ، بينما مسقطها علي مستوي المقارنة (النقطة ب') من المفترض أن يظهر علي الصورة عند النقطة ب١'. أي أن الإزاحة ب١-ب١' للنقطة ذات المنسوب السالب ستكون باتجاه بعيدا عن مركز الصورة الجوية.



شكل (١٠-١٠) الإزاحة

لحساب قيمة الإزاحة التضاريسية في الصور الجوية:

الإزاحة = بعد قمة الهدف عن مركز الصورة × منسوب قاعدة الهدف ÷ ارتفاع الطيران (١٠-٧)

<u>مثال:</u>

قيست مسافة هدف علي صورة جوية ووجد أنه يبعد ٦٣ ملليمتر عن مركز الصورة (النقطة الرئيسية للصورة) ، فإذا علمت أن ارتفاع الطيران لهذه الصورة كان ٢٤٠٠ متر فوق مستوي سطح البحر وأن منسوب هذا الهدف يبلغ ٨٢٤ مترا فوق مستوي سطح البحر فأحسب إزاحة هذا الهدف.

الإزاحة = بعد قمة الهدف عن مركز الصورة × منسوب قاعدة الهدف ÷ ارتفاع الطيران
= (٦٣/١٠٠٠) × ٨٢٤ × ٢٤٠٠
= ٠.٠٢١٦ متر = ٢١.٦ ملليمتر.

بحساب قيمة الإزاحة التضاريسية ومعرفة اتجاه التصحيح (للداخل إن كان الهدف أعلي من مستوي سطح البحر وللخارج إن كان الهدف أقل من مستوي سطح البحر) فيمكن تصحيح جميع

المعالم في الصورة الجوية. وتتم هذه العملية باستخدام جهاز يسمي جهاز الأورثوفوتوسكوب Ortho-Photoscope والذي ينتج صورة مصححة هندسيا تسمي الصور المتعامدة Ortho-Photo وتسمي أيضا خرائط الاورثوفوتو Ortho-Photo-Maps لأنها صورة جاهزة لإنتاج الخريطة الهندسية منها.

شكل (١٠-١١) جهاز الأورثوفوتوسكوب

من فوائد الإزاحة التضاريسية أنها تمكننا من حساب ارتفاع الظاهرات البشرية العمودية (برج، مسلة، خزان مياه ... الخ) التي تظهر علي الصور الجوية. لأي معلم تظهر قمته و قاعدته علي الصورة فأن هذه المسافة تعد عي الإزاحة التضاريسية الناتجة عن ارتفاع هذا الهدف ، أي يمكن قياسها علي الصورة الجوية.

ارتفاع الهدف العمودي = (ارتفاع الطيران - منسوب قاعدة الهدف) ×
المسافة بين قمة الهدف و قاعدته ÷ بعد قمة الهدف عن مركز الصورة (١٠-٨)

<u>مثال:</u>

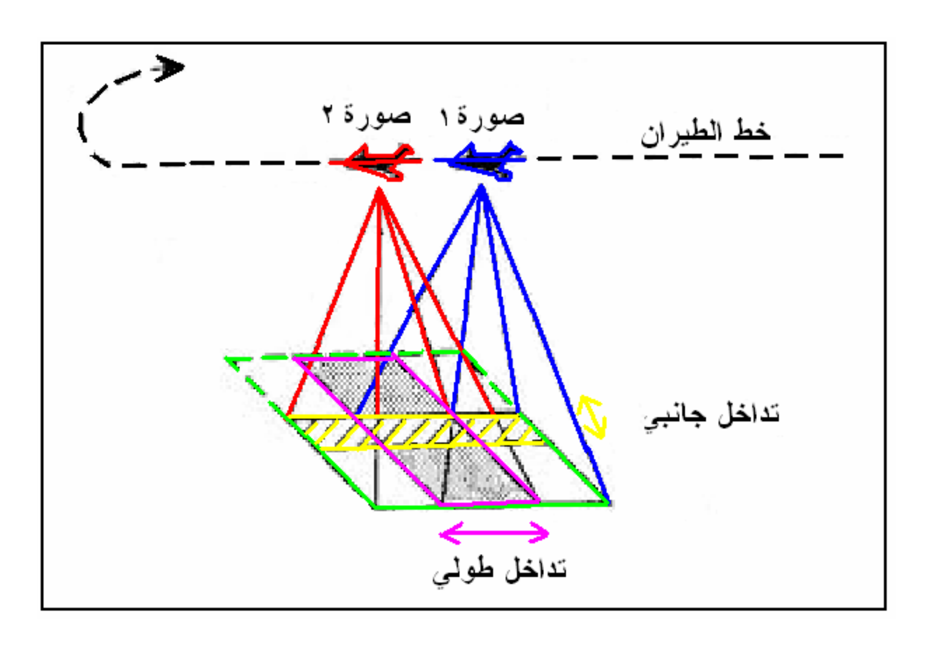
أحسب ارتفاع خزان مياه قيست المسافة بيت قمته و قاعدته علي الصورة الجوية ووجد أنها تساوي ٧ ملليمترات كما وجد أن قمة الخزان تبعد ٨.٨ سنتيمتر عن مركز الصورة الجوية، إذا علمت أن ارتفاع الطيران لهذه الصورة كان ١٠٠٠ متر وأن منسوب قاعدة الخزان يبلغ ٢٣٥ متر فوق مستوي سطح البحر.

ارتفاع الهدف العمودي = (ارتفاع الطيران - منسوب قاعدة الهدف) ×
المسافة بين قمة الهدف و قاعدته ÷ بعد قمة الهدف عن مركز الصورة
= (١٥٠٠-٢٣٥) × (١٠٠٠/٧) ÷ (١٠٠/٨.٨)
= ٦٠.٨٥ متر

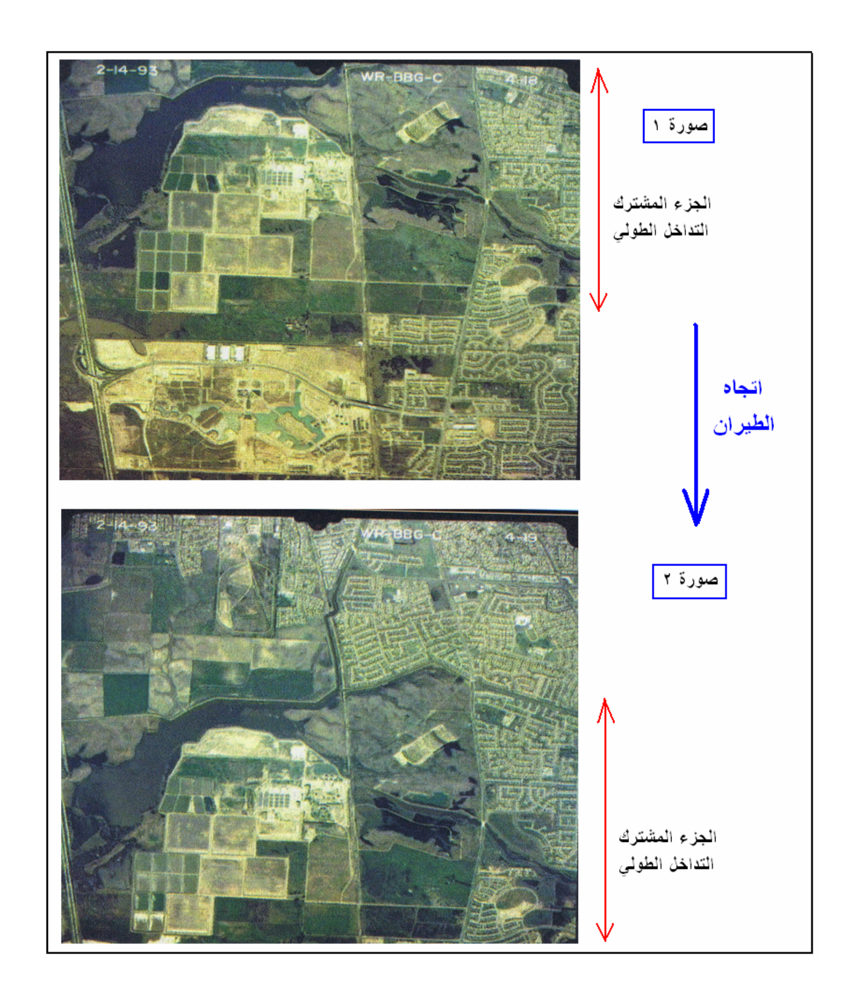
١٠-٢-٤-٤ التداخل بين الصور الجوية:

من متطلبات التصوير الجوي بهدف إنتاج الخرائط وجود مساحة مشتركة بين كل صورتين متتاليتين في نفس خط الطيران (التداخل الطولي) وكذلك وجود مساحة مشتركة بين كل خطي طيران متتاليين (التداخل الجانبي).

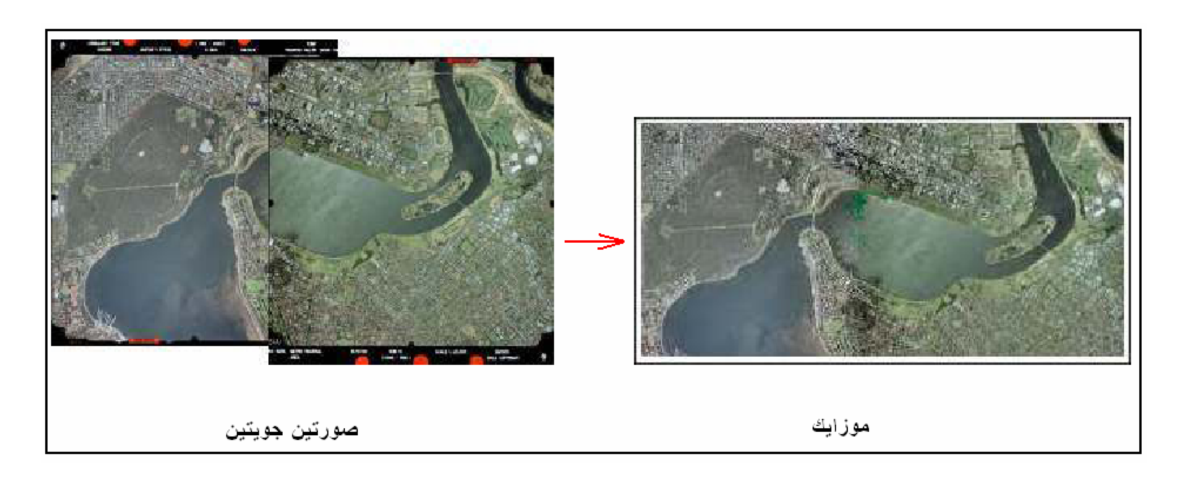
التداخل الطولي هو أساس إتمام الإبصار المجسم (ثلاثي الأبعاد) للصور الجوية ومن ثم إمكانية قياس البعد الثالث (الارتفاعات) للمعالم الجغرافية لإنتاج الخرائط الطبوغرافية. كما أن المنطقة المتداخلة بين الصورتين تكون أقل تشوها من أطراف كل صورة جوية علي حدي. غالبا يأخذ التداخل الطولي بنسبة ٦٠% ، أي أن ٦٠% من الصورة الأولي سيظهر أيضا في الصورة الثانية ، وهكذا. بينما أهم استخدامات التداخل العرض (غالبا يكون ٣٠%) هو ترتيب الصور الجوية عند إنشاء ما يعرف بالموزايك (أو الفسيفساء) وهو تجميع عدة صور جوية معا في صورة واحدة كبيرة تغطي المنطقة كلها.



شكل (١٠-١٢) التداخل بين الصور الجوية



شكل (١٠-١٣) مثال للتداخل الطولي بين الصور الجوية



شكل (١٠-١٤) الموزايك أو الفسيفساء

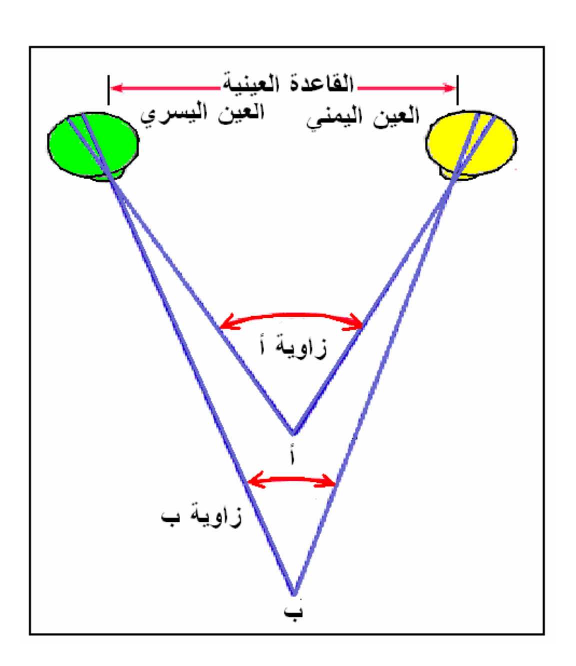
١٠-٢-٤-٥ الإبصار المجسم:

خلق الله عز و جل الإنسان وله عينان كلا منهما تري صورة وترسلها إلي المخ الذي يجمع كلا الصورتين معا ليكون منهما صورة ثلاثية الأبعاد أو صورة مجسمة ومن هنا يستطيع الإنسان الإحساس بالبعد الثالث لما تراه عيناه (قرب وبعد الأهداف منه). من هنا يعرف التجسيم بأنه القدرة علي التمييز بين الأبعاد الثلاثة لأي جسم ومعرفتها ومن ثم الحصول علي الشكل الحقيقي في الفراغ.

للحصول علي الإبصار المجسم (بالعين المجردة) يجب توافر عدة شروط تشمل:

١. وجود صورتين لنفس الهدف ملتقطتين من نقطتين مختلفتين.
٢. وضع الصورتين بنفس ترتيب تصويرهما.
٣. تري العين اليمني الصورة اليمني فقط (أي لا تري الصورة اليسري) بينما تري العين اليسري الصورة اليسري فقط.
٤. تكون قوة الإبصار لكلا العينين تقريبا متساوية.

يعتمد المخ البشري علي تفسير الزاوية بين الأشعة التي تصل إلي كل عين من هدف معين ليقدر مسافة هذا الهدف (تعرف بأسم الزاوية البارالكتيكية) ، فالهدف القريب من الإنسان ستكون زاويته كبيرة بينما الهدف البعيد سيصنع زاوية أصغر. ومن هنا يستطيع الإنسان تحديد مدي قرب أو بعد الأهداف عنه ×الإبصار المجسم).

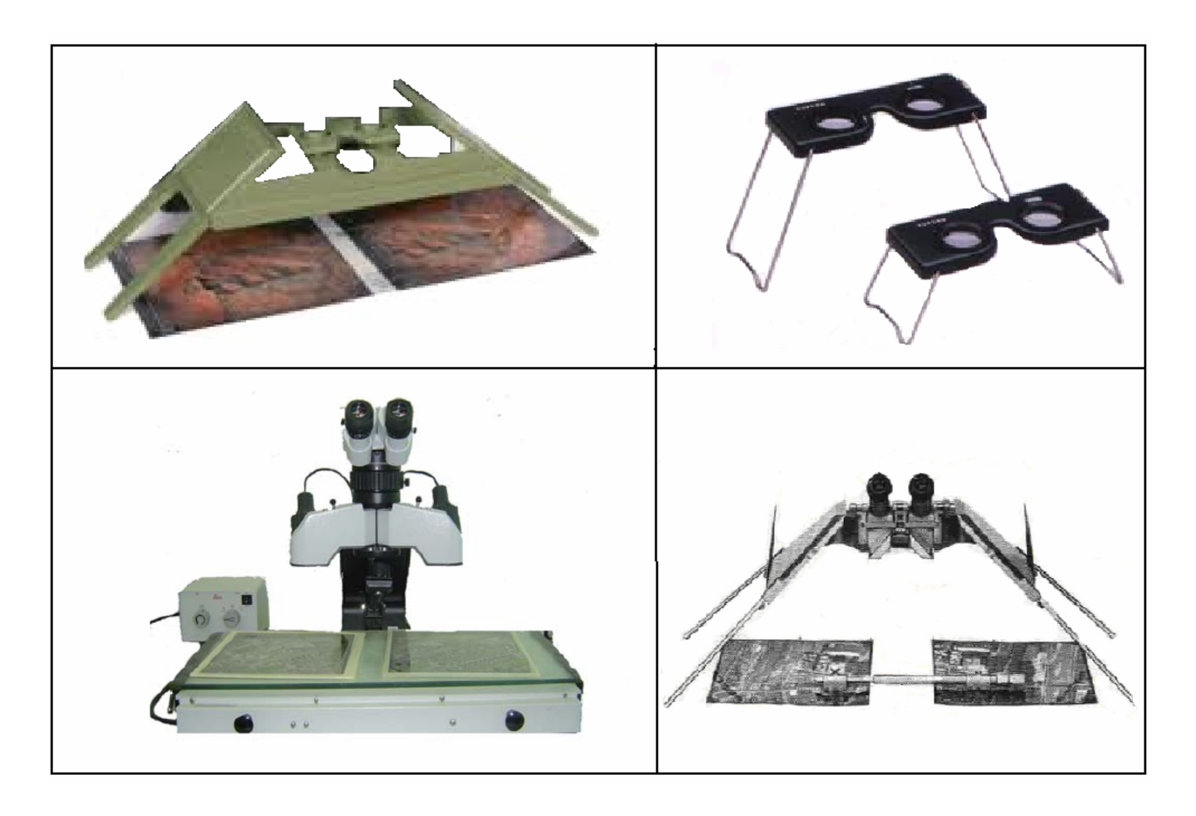


شكل (١٠-١٥) مبدأ الإبصار المجسم

يمكن تطبيق نفس المبدأ في الصور الجوية المتداخلة بحيث أن الجزء المتداخل في الصورة الأولي والجزء المتداخل في الصورة الثانية سيمثلان صورتين لنفس المنطقة ، علي أن نضع حاجزا بين عيني الإنسان بحيث أن كل عين تري صورة واحدة فقط. ومن هنا تم تطوير أجهزة الإبصار المجسم التي تسمي الاستريوسكوب Stereoscopes.
تنقسم أجهزة الاستريوسكوب إلي نوعين:

(أ) الاستريسكوب الجيبي وهو إما بسيط أو له عدسات ، ويستخدم للصور الصغيرة ولأعمال التدريب فقط حيث أن قوة تكبير عدساته تكون بسيطة(الصورتين العلويتين في الشكل التالي).

(ب) استريسكوب الصور الجوية العادية: وهو إما استريسكوب ذو المرايا أو الاستريسكوب الزووم (الصورتين السفليتين في الشكل التالي).



شكل (١٠-١٦) أنواع الاستريسكوب

كما توجد طرق أخري للإبصار المجسم مثل طريقة الألوان المتكاملة (أو الأناجليف) حيث يتم طباعة الصورة اليمني باللون الأزرق و طباعة الصورة اليسري باللون الأحمر ، ثم يتم ارتداء نظارة لها عدسة يمني زرقاء و عدسة يسري حمراء. هنا ستقوم العدسة الزرقاء للنظارة بامتصاص الأشعة القادمة إليها من الصورة الزرقاء فقط ، وبالمثل ستعمل عدسة النظارة الحمراء علي رؤية الصورة الحمراء فقط ومن ثم يتحقق شرط الإبصار المجسم.

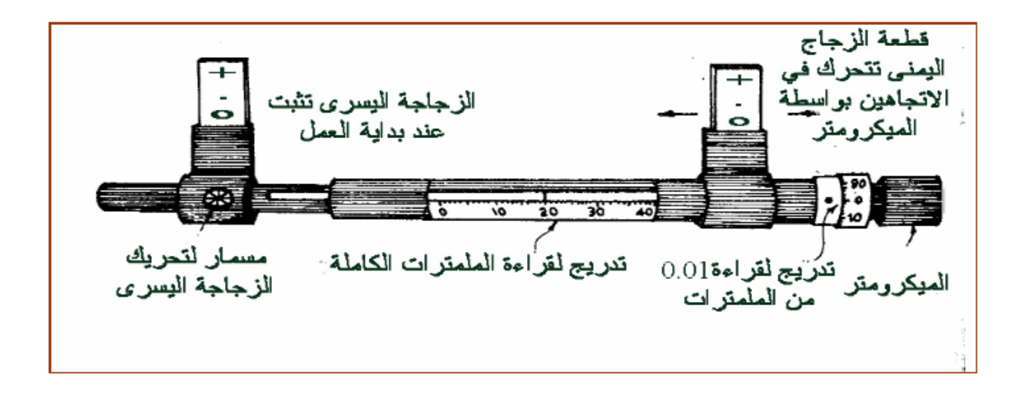
يعتمد حساب المناسيب من الصور الجوية علي نظرية الابتعاد أو البارااكس Parallax والابتعاد المطلق هو اختلاف المواقع النسبية للمعالم الزاهرة علي الصور الجوية المتعاقبة وذلك نتيجة اختلاف موضع التصوير لكل صورة. أما الابتعاد النسبي فهو فرق الابتعاد المطلق بين هدفين أو نقطتين وذلك نتيجة لاختلاف المنسوب بينهما. أي أن فرق الابتعاد بين نقطتين يمكن استخدامه في حساب فرق المنسوب بينهما ، فإذا علمنا منسوب نقطة منهما أمكننا حساب منسوب النقطة الثانية (مبدأ الميزانية).

يمكن حساب قيمة الابتعاد لأي نقطة بعدة طرق منها:

الابتعاد = فرق الاحداثي السيني للهدف في كلتا الصورتين (١٠-٩)

حيث المحور السيني في كل صورة يكون هو اتجاه الطيران.

كما يستعمل جهاز ذراع البارلاكس (أو الاستريومتر) لقياس فرق الابتعاد بين نقطتين ، حيث يوضع الجهاز بحيث تكون العلامة الزجاجية اليسري مثبتة فوق النقطة علي الصورة اليسري ثم نبدأ نحرك العلامة الزجاجية اليمني حتى تنطبق علي النقطة في الصورة اليمني. قراءة ميكرومتر الجهاز هي قيمة الابتعاد لهذه النقطة. نكرر العمل للنقطة الثانية ثم نطرح قيمة الابتعاد لكلتا النقطتين لنحسب فرق الابتعاد بينهما.



شكل (١٠-١٧) ذراع البارلاكس

فرق المنسوب = ارتفاع الطيران × فرق الابتعاد ÷ (طول القاعدة الجوية + فرق الابتعاد) (١٠-١٠)

أو بمعادلة تقريبية مبسطه كالتالي:

فرق المنسوب = ارتفاع الطيران × فرق الابتعاد ÷ طول القاعدة الجوية (١٠-١١)

حيث القاعدة الجوية هي المسافة بين مركزي الصورتين مقاسة بمقياس رسم الصورة (لاحظ أن مركز الصورة الأولي سيظهر في جزء التداخل للصورة الثانية).

<u>مثال:</u>

إذا كان طول القاعدة الجوية مقاسا بمقياس رسم الصورة يساوي ١٠٠ ملليمتر وفرق الابتعاد من صورتين لهدفين مختلفتين هو ٢ ملليمتر فأحسب فرق المنسوب بينهما إذا كان ارتفاع الطيران ٣٦٠٠ متر فوق مستوي سطح البحر.

فرق المنسوب = ارتفاع الطيران × فرق الابتعاد ÷(طول القاعدة الجوية + فرق الابتعاد)
= ٣٦٠٠ × ٠.٠٠٢ ÷ (٠.١٠٠ + ٠.٠٠٢)
= ٧٠.٥٩ متر

مثال:

قيس فرق الابتعاد بين قمة برج و قاعدته فكان ٢ ملليمتر وكان طول القاعدة الجوية بمقياس الصورة ١٠٠ ملليمتر. أحسب ارتفاع البرج إذا علمت أن ارتفاع الطيران يبلغ ٣٦٠٠ متر فوق منسوب سطح البحر.

فرق المنسوب = ارتفاع الطيران × فرق الابتعاد ÷ طول القاعدة الجوية
= ٣٦٠٠ ÷ ٠.٠٠٢ ÷ ٠.١٠٠
= ٧٢ متر

فرق المنسوب هنا هو بين قمة البرج و قاعدته ، أي أنه يساوي ارتفاع البرج ذاته.

١٠-٣ المساحة التصويرية الرقمية:

حديثا أصبحت تطبيقات المساحة التصويرية تتم باستخدام الحاسبات الآلية و الأجهزة المتطورة مما جعل المساحة التصويرية تتم الآن رقميا Digital Photogrammetry خلافا للمساحة التصويرية العادية التي كانت تستخدم الأجهزة البسيطة Analogue Photogrammetry. تطور هذا الفرع من أفرع المساحة التصويرية في النصف الثاني من القرن العشرين الميلادي مع ظهور تقنيات نظم المعلومات الجغرافية و الاستشعار عن بعد وزيادة الحاجة علي تطوير الخرائط الرقمية وشيوع استخداماتها (خلافا للخرائط الورقية المعتادة).

تتكون نظم المساحة التصويرية الرقمية من أجهزة Hardware وبرامج حاسوبية متخصصة Software. من أمثلة الأجهزة المستخدمة في هذه التطبيقات جهاز الماسح الضوئي scanner الذي يقوم بتحويل الصورة الجوية الورقية إلي صورة رقمية ، وأيضا الفارة mouse ثلاثية الأبعاد. من أمثلة برامج المساحة التصويرية الرقمية برنامج Socet set (وبرنامج رسم الخرائط المرافق له Micro station) ، وأيضا برنامج PS وبرنامج PDV.

يتطلب التعامل مع الصور الجوية الرقمية عدة خطوات تشمل:

١. تحويل الصورة إلي صيغة رقمية وإدخالها للحاسب عن طريق أجهزة المسح الضوئي.
٢. ضبط الصورة الجوية بإتمام عمليتي التوجيه الداخلي و التوجيه الخارجي لإزالة التشوهات الناتجة عن تشوه العدسة و كروية الأرض وتأثير الانكسار الجوي.
٣. التثليث الجوي Aerial Triangulation وهي عملية إيجاد معادلات رياضية تحدد للعلاقة بين الإحداثيات علي الصورة والإحداثيات الأرضية الحقيقية ، وتتم هذه الخطوة من خلال معرفة الإحداثيات الأرضية الحقيقية لمجموعة من النقاط علي الصورة وهي ما تسمي بنقاط الربط الأرضية Ground Control Points أو اختصارا GCP.
٤. ضبط المناسيب علي الصورة الجوية من خلال معرفة مناسيب مجموعة من النقاط الموزعة توزيعا جيدا علي أرجاء الصورة الجوية ، ومن ثم يمكن استنباط طبقة الكنتور للصورة.
٥. المراجعة الحقلية (الميدانية) للتحقق من المظاهر الجغرافية علي الصورة مع تجميع البيانات غير المكانية المطلوبة ، بالإضافة لتحديد دقة الصورة الرقمية من خلال

مقارنة بعض القياسات عليها (مسافات وانحرافات و مناسيب) مع قياسات المسح الأرضي لنفس الظاهرات سواء بجهاز المحطة الشاملة أو بأجهزة GPS.

٦. إضافة المعلومات غير المكانية (مثل أسماء الشوارع والمساجد ..الخ) علي الصورة المصححة لإنتاج الصورة العمودية photomap.

٧. الترقيم من الصور الجوية digitizing لرسم المعالم الجغرافية (بأبعادها و إحداثياتها الحقيقية) في ملف الخريطة الرقمية المطلوبة.



شكل (١٠-١٨) المساحة التصويرية الرقمية

١٠-٤ التصوير الفضائي أو الاستشعار عن بعد:

في ٢٤ أكتوبر ١٩٥٧م أطلق الاتحاد السوفيتي في ذلك الوقت (روسيا الآن) أول قمر صناعي المسمي سبوتينك الأول Sputnik 1 - وهو عبارة عن كرة من الألمنيوم بقطر ٥٨ سنتيمتر ووزن ٨٤ كيلوجرام تدور حول الأرض مرة كل ٩٦ دقيقة- بهدف بحث إمكانية صعود الإنسان للفضاء. ومنذ ذلك التاريخ دخلت البشرية عصر الأقمار الصناعية والسفر إلي خارج كوكب الأرض وأيضا استغلال هذه الإمكانيات التقنية في دراسة الكوكب ذاته وما يحتويه من موارد طبيعية في محاولة لفهمه.

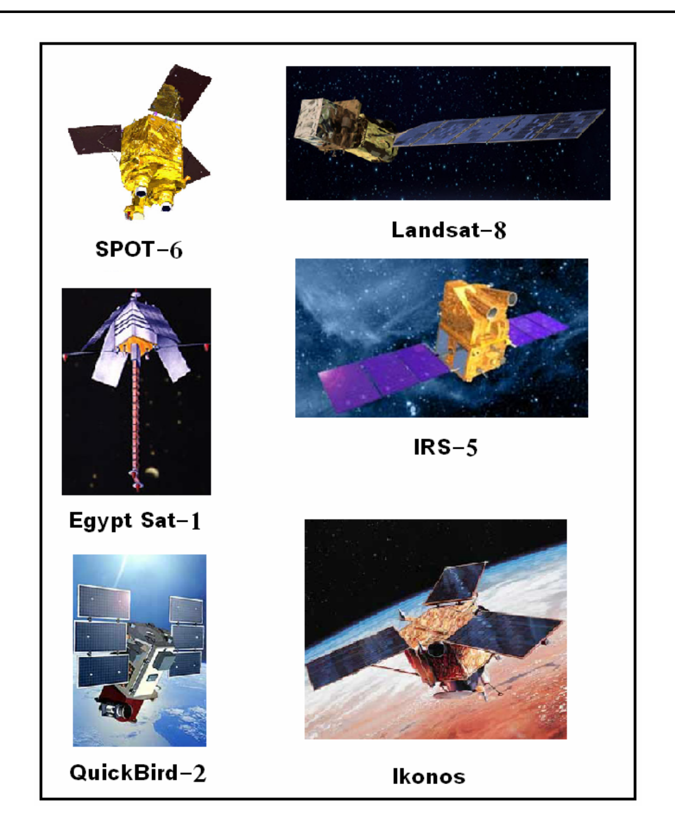
يمكن تقسيم الأقمار الصناعية بصفة عامة - طبقا للهدف منها - إلي ثلاثة مجموعات أساسية:

١. أقمار تحديد المواقع والهدف منها تحديد موقع (إحداثيات) أي هدف ثابت أو متحرك علي سطح الأرض مثل تقنية GPS.
٢. أقمار الاتصالات لنقل البيانات المرئية و المسموعة (المكالمات والراديو و التلفزيون) إلي مناطق شاسعة من الأرض للتغلب علي الموانع والمعوقات الطبيعية مثل أقمار نايل سات و العرب سات.

٣. أقمار دراسة الأرض وتشمل (أ) أقمار دراسة البحار و المحيطات و (ب) أقمار دراسة الغلاف الجوي للأرض و مناخها و (ج) أقمار الاستشعار عن بعد.

بدأت الأقمار الصناعية كأقمار مخصصة للأغراض العسكرية في المقام الأول إلا أنها أصبحت تستخدم في العديد من التطبيقات المدنية سواء الهندسية أو البيئية أو الزراعية أو الجيولوجية .... الخ. وطوال ثلاثة عقود كانت معظم الأقمار الصناعية حكومية وكان الحصول علي المرئيات الفضائية يتم من خلال الجهات الحكومية في الدول من خلال اتفاقيات موقعة مع الدولة صاحبة القمر الصناعي. إلا أنه في السنوات الأخيرة ومن انتشار تطبيقات المرئيات الفضائية في عدة مجالات فقد زاد الطلب علي منتجات الأقمار الصناعية مما جعل بعض الشركات الكبرى تدخل هذا المجال المربح اقتصاديا. والآن أصبحت هناك عدة أقمار صناعية تجارية يمكن شراء منتجاتها بسهولة و يسر. الجدول التالي يقدم بعض المعلومات عن أشهر الأقمار الصناعية المخصصة للاستشعار عن بعد.

أولا: الأقمار الصناعية الحكومية		
أسم القمر	الدولة	تاريخ الإطلاق
Landsat 7	أمريكي	١٥-٤-١٩٩٩م
Spot 5	فرنسي	٣-٥-٢٠٠٢م
IRS-5P	هندي	٥-٥-٢٠٠٥
Radarsat-2	كندي	١٤-١٢-٢٠٠٧م
EgyptSat-1	مصري	١٧-٤-٢٠٠٧م
Rasat	تركي	١٧-٨-٢٠١١م
ثانيا: الأقمار الصناعية التجارية		
أسم القمر	الشركة	تاريخ الإطلاق
IKONOS-2	Space Imaging Co.	٢٤-٩-١٩٩٩م
QuickBird-2	Digital Glob Inc.	١٨-١٠-٢٠٠١م
GeoEye-1	GeoEye Inc.	٦-٩-٢٠٠٨م



شكل (١٠-١٩) أقمار صناعية

يختلف التصوير الفضائي عن التصوير الجوي أساسا في نوع وتقنية التصوير ذاته. التصوير الجوي يعتمد علي الكاميرات الضوئية التي تسجل صورها علي أفلام حساسة ، بينما في التصوير الفضائي تستخدم تقنيات التصوير غير الفوتوغرافي وهي تسجيل إشارات الكترونية - تتطابق مع تباينات الطاقة للأهداف الأرضية – بصورة رقمية قد تحول فيما بعد إلي صور مطبوعة. أي أن التصوير الجوي يتم باستخدام الأفلام ثم طباعة الصور الجوية علي الورق ثم تحويلها إلي صور رقمية فيما بعد ، بينما التصوير الفضائي يتم بصورة عكس ذلك حيث أن ناتج التصوير يكون أساسا في صورة رقمية يتم استخدامها في الحاسبات مباشرة ثم يمكن طباعتها إن كانت هناك حاجة لذلك. ومن هناك أصبح مصطلح الصور photos يطلق أساسا علي الصور الجوية بينما مصطلح المرئية الفضائية images يطلق علي صور الأقمار الصناعية.

يعتمد التصوير الفضائي علي المحسات sensors وهي أجهزة تقوم بتسجيل الطاقة الكهرومغناطيسية سواء المنعكسة أو المنبعثة من الظاهرات الموجودة علي سطح الأرض ، وتقوم المحسات بتحويل هذه الطاقة المستقبلة إلي هيئة رقمية يتم تسجيلها علي أقراص صلبة. ويمكن تقسيم المحسات إلي نوعين: (١) محسات سالبة passive sensors تقوم علي استقبال الطاقة المنبعثة من سطح الأرض ، (٢) محسات موجبة positive sensorsn تقوم علي إرسال موجات معينة إلي سطح الأرض والتي تنعكس مرة أخري – عند اصطدامها بالأرض- وتسجيل هذه الموجات المنعكسة. تقع أغلبية المحسات المستخدمة في التصوير الفضائي تحت مجموعة المحسات السالبة ، بينما تشمل المحسات الموجبة التصوير الراداري المستخدم أساسا في قياس ارتفاعات تضاريس الأرض لتطوير نماذج الارتفاعات الرقمية.

يتم التقاط مرئيات الأقمار الصناعية في عدة موجات من موجات الطيف الكهرومغناطيسي (أرجع للشكل ١٠-٧). مصطلح الدقة الطيفية يطلق علي عدد الأطوال الموجية التي يلتقط كل قمر صناعي فيها مرئياته ، أي إن المرئية الواحدة تتكون من مجموعة من الصور تلتقط كل صورة في مجال طيفي معين ثم يتم تجميعها في مرئية واحدة. هذا المبدأ من أهم مميزات التصوير الفضائي حيث إن كل مجال طيفي يستخدم في دراسة ظاهرة محددة. بالتالي فتختلف خصائص المرئيات من كل قمر صناعي طبقا لعدد الموجات للمرئية ، والجدول التالي يقدم بعض أمثلة لخصائص مرئيات بعض أقمار الاستشعار عن بعد.

القمر الصناعي	المجالات الطيفية	طول الموجة بالميكرومتر
Landsat TM	١ الأزرق	٠.٤٥ – ٠.٥٢
	٢ الأخضر	٠.٥٢ – ٠.٦٠
	٣ الأحمر	٠.٦٣ – ٠.٦٩
	٤ تحت الحمراء القريبة	٠.٧٦ – ٠.٩٠
	٥ تحت الحمراء المتوسطة	١.٥٥ – ١.٧٥
	٦ تحت الحمراء الحرارية	١٠.٤ – ١٢.٥
	٧ تحت الحمراء المتوسطة	٢.٠٨ – ٢.٣٥
Spot	١ الأخضر	٠.٥٠ – ٠.٥٩
	٢ الأحمر	٠.٦١ – ٠.٦٨
	٣ تحت الحمراء القريبة	٠.٧٩ – ٠.٨٩
	٤ ابيض و اسود	٠.٥١ – ٠.٧٣

دقة الوضوح المكانية Spatial Resolution تعبر عن مساحة الخلية الواحدة في كل مرئية فضائية ، أي أنها مساحة النقطة علي المرئية أو مساحة أقل جزء يمكن تمييزه بوضوح علي المرئية (ما هو أقل من هذه المساحة لن يكون واضحا). تختلف دقة الوضوح المكانية أو حجم الخلية pixel size من قمر صناعي لآخر. بناءا علي دقة الوضوح المكانية يمكن تصنيف الأقمار الصناعية إلي ٣ مجموعات: (أ) أقمار عالية الوضوح المكاني مثل القمر Ikonos ودرجة وضوحه تبلغ ١ متر والقمر QuickBird ودرجة وضوحه تبلغ ٠.٦١ متر، (ب) أقمار متوسطة الوضوح المكاني مثل القمر Landsat-7 ودرجة وضوحه تبلغ ٣٠ متر ، (ج) أقمار منخفضة الوضوح المكاني مثل القمر NOAA-17 ودرجة وضوحه تبلغ ١٠٠٠ متر.
من الممكن أن تختلف درجة الوضوح المكاني لمرئيات نفس القمر الصناعي في الأطياف الموجية المختلفة ، فمثلا درجة الوضوح المكاني للمرئيات الغير ملونة (أبيض و أسود) panchromatic للقمر الصناعي SPOT-٥ تبلغ ٢.٥ متر بينما المرئيات الملونة لنفس القمر الصناعي تبلغ درجة وضوحها المكاني ١٠ متر. تستخدم المرئيات الفضائية عالية الوضوح المكاني في التخطيط الحضري للمدن و المشروعات المدنية وإنتاج الخرائط بينما تستخدم المرئيات متوسطة الوضوح المكاني في التخطيط الإقليمي لمناطق كبيرة والتطبيقات البيئية و الزراعية بينما تستخدم المرئيات منخفضة الوضوح المكاني في الأحوال الجوية وأرصاد الطقس. أيضا تختلف حجم المنطقة التي تغطيها المرئية الفضائية الواحدة من قمر صناعي لآخر ، فمثلا مرئية القمر الصناعي SPOT-5 تغطي ٦٠×٦٠ كيلومتر بينما مرئية القمر الصناعي Ikonos تغطي ١١×١١ كيلومتر و مرئية القمر الصناعي QuickBird تغطي ١٦×١٦ كيلومتر و مرئية القمر الصناعي Landsat-7 تغطي ١٨٥×١٧٠ كيلومتر.



شكل (١٠-٢٠) دقة الوضوح المكانية

تتم معالجة المرئيات الفضائية باستخدام برامج حاسوبية متخصصة software مثل برامج: Erdas Imagine, PCI, Geomedia. وتتكون خطوات معالجة المرئية Image Processing من عدة خطوات تشمل:

- التصحيح الهندسي Geometric Correction : لإزالة التشوهات الناتجة عن سرعة القمر الصناعي وانحناء سطح الأرض و انكسار الأشعة في الغلاف الجوي.
- التصحيح الراديومتري Radiometric Correction : لإزالة التشوهات الناتجة من أخطاء المحسات في القمر الصناعي أو تأثيرات طبقات الغلاف الجوي علي الموجات.
- إزالة الضجيج Noise Removal : لإزالة أي اضطراب غير مرغوب به من المرئية نجمت عن أي قصور في عملية التصوير.
- تحسين المرئية Image Enhancement : تحسين تباين المرئية وقدرتها علي إظهار التفاصيل.
- دمج المرئيات Image Merging : لجمع عدة مرئيات معا في حالة أن منطقة العمل تغطيها عدة مرئيات وليس مرئية واحدة.

تكون المرئيات الفضائية مرجعه جغرافيا Georeferenced أي أن إحداثيات المرئية تعتمد علي أحد نظم الإحداثيات المستخدمة في تمثيل سطح الأرض سواء كانت الإحداثيات الجغرافية (خط الطول و دائرة العرض) أو الإحداثيات المسقطة أو المترية مثل نظام UTM. يدل ذلك علي أن معلم محدد علي المرئية يمكن تحديد إحداثياته مباشرة من المرئية الفضائية. بعد معالجة المرئيات الفضائية يمكن تحويلها (من صورتها الشبكية Raster) إلي خرائط رقمية (في الصورة الخطية Vector) من خلال عملية الترقيم Digitizing أو تسمي أحيانا التحويل من الصيغة الشبكية للصيغة الخطية Raster to Vector Conversion . أحد هذه الأساليب ما يعرف بأسم الترقيم من الشاشة On-screen digitizing حيث تكون المرئية كخلفية علي

شاشة الكمبيوتر ثم يتم استخدام فارة الحاسب Mouse كقلم يمر علي حدود كل معلم ليقوم برسمه في ملف رقمي أو طبقة ، أو باستخدام برامج متخصصة لتحويل المرئية من الصورة الخلوية إلي الصورة الخطية Automatic Vectorization (مثل برنامج R2V). بالتالي فأن الخريطة الرقمية المنتجة من المرئية الفضائية تكون أيضا مرجعة جغرافيا وتعتمد علي إحداثيات حقيقية. ثم نضيف أسماء المعالم الجغرافية (مثل أسماء الشوارع) إلي هذه الطبقة لنحصل علي خريطة مساحية دقيقة.

الفصل الحادي عشر

نظم المعلومات الجغرافية

تعد نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems (أو اختصارا GIS) من أهم التقنيات التي دخلت مجال المساحة في النصف الأخير من القرن العشرين الميلادي وساهمت في ابتكار العديد من التطبيقات الجديدة. فمنذ ذلك الحين وجدت الخرائط الرقمية Digital Maps والخرائط المحمولة Portal Maps مثل تلك التي أصبحت متوافرة في أجهزة الجوالات (التليفون المحمول أو الموبايل). بل أن نظم المعلومات الجغرافية قد أدت إلي أن بعض أقسام المساحة في الجامعات قد غيرت أسمها لتعبر عن الصورة الشاملة الحديثة للتطبيقات المساحية فظهرت مصطلحات مثل الجيوماتكس Geomatics والعلوم الأرضية Geoinformatics و العلوم المكانية Spatial Sciences.

١١-١ تاريخ نظم المعلومات الجغرافية

مع ابتكار أجهزة الحاسبات الآلية ظهرت قواعد المعلومات Data Bases التي تجمع العديد من المعلومات حول هدف معين في صورة رقمية ، مثل قواعد معلومات المشتركين في البنوك من أسم العميل ورقم حسابه ومعلوماته الشخصية ....الخ. ويحتاج هذا الكم الكبير من المعلومات إلي نظام لإدارة المعلومات وتصنيفها و فهرستها و ترتيبها وسرعة البحث داخلها ، ومن ثم ظهرت نظم إدارة المعلومات Management Information System وبرامجها الحاسوبية مثل Oracle and Microsoft Access.

أيضا ساعدت الحاسبات الآلية علي ابتكار برامج ووسائل تقنية لرسم الخرائط باستخدام الحاسوب وبرامج التصميم باستخدام الحاسوب Computer-Aided Design (CAD) ومن أشهرها برنامج AutoCAD. تميزت هذه الوسائل التقنية بالقدرة العالية علي تمثيل معالم الأرض سواء في بعدين (مسقط أفقي) أو ثلاثة أبعاد (مجسمات). إلا أنها – في نفس الوقت – لم تكن لتسمح بتخزين أية معلومات أخري غير مكانية عن هذه المعالم ، فمثلا يمكن رسم تفاصيل شبكة من الطرق في مدينة معينة لكن من الصعب تخزين بيانات كل طريق (نوع الإسفلت ، تاريخ آخر معالجة للطريق ، عرض الطريق ، عدد حارات المرور بالطريق .... الخ) داخل الملف. بالتالي أصبح لدينا نوعين مختلفين من البيانات للمعالم الجغرافية: ملف مكاني (خريطة) وملف بيانات أخري غير مكانية ، وكلاهما في إطار منفصل عن الآخر. ومع انطلاق عصر الأقمار الصناعية وما توفره المرئيات الفضائية من كم هائل من المعلومات عن سطح الأرض تزايدت الحاجة لتطوير تقنية تسمح بتسجيل و تخزين هذا الكم الكبير من البيانات سواء المكانية أو غير المكانية عن موقع محدد من الأرض والمساعدة في تحليل هذه البيانات ومعرفة العلاقات المكانية بين الظواهر.

يري الكثيرون أن بداية تطور نظم المعلومات الجغرافية قد بدأت في عام ١٩٦٤م في كندا عندما تم تطوير عملية ترقيم للخرائط (تحويلها من الصورة الورقية إلي صورة رقمية في الحاسبات الآلية) وربط هذه الخرائط الرقمية مع معلومات غير مكانية (أو معلومات وصفية) علي شكل قوائم مما أدي لإنشاء عدة طبقات للزراعة و التربة و الثروة الحيوانية و استخدامات الأراضي لمنطقة المشروع الذي أطلق عليه أسم نظام المعلومات الجغرافية الكندي. وفي عام ١٩٦٩م تم تأسيس شركة معهد البحوث والنظم البيئية Environmental Systems

Research Institute المعروفة باسم ESRI في الولايات المتحدة الأمريكية علي يد جاك دينجرموند لتصبح أول شركة خاصة في مجال تطوير برمجيات نظم المعلومات الجغرافية (وأشهرهم حتى الآن علي المستوي العالمي). وفي عام ١٩٧٠م عقد أول مؤتمر دولي في نظم المعلومات الجغرافية ونظمه الاتحاد العالمي للجغرافيين بدعم من منظمة العلوم والثقافة بالأمم المتحدة (اليونسكو). ومع انطلاق القمر الصناعي الأمريكي Landsat في عام ١٩٧٢م زادت الحاجة إلي نظم المعلومات الجغرافية لتخزين وتحليل وعرض هذا الكم الهائل من المعلومات عن سطح الأرض واستنباط الخرائط منها. ومع بدء العمل بالنظام العالمي لتحديد المواقع GPS في منتصف الثمانينات من القرن العشرين الميلادي أصبح تجميع القياسات الميدانية أسرع و أسهل ومن ثم زاد انتشار و تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية. ومن هنا بدأت العديد من الجامعات في تدريس هذه التقنية الجديدة (أو هذا التخصص العلمي الجديد) وتطبيقها في العديد من العلوم الهندسية و الجغرافية و الزراعية و البيئية.

يخلط البعض بين وصف نظم المعلومات بالجغرافية وبين علم الجغرافيا فيدعي بعضهم أن نظم المعلومات الجغرافية ما هي إلا أحد التقنيات الحديدة للجغرافيا ! ومن ثم يحاول آخرون (في الفريق المضاد) تغيير مسمي هذه التقنية إلي أسم آخر مثل نظم المعلومات المكانية Spatial Information System أو نظم معلومات الأراضي Land Information System. تجدر الإشارة هنا إلي أن كلمة "الجغرافية" في مصطلح نظم المعلومات الجغرافية ما هي إلا دلالة علي أن هذا النوع من نظم المعلومات مرتبط بمكان أو موقع جغرافي محدد علي سطح الأرض، وذلك للتفرقة بين هذا النوع من نظم المعلومات و نظم المعلومات الأخرى التي لا ترتبط بالمكان مثل نظم المعلومات الإدارية للبنوك و الشركات ...الخ.

١١-٢ ماهية نظم المعلومات الجغرافية

لا يوجد تعريف محدد لنظم المعلومات الجغرافية ويرجع السبب في ذلك إلي انتشار تطبيق هذه التقنية في العديد من المجالات سواء الحاسوبية أو الهندسية أو الجغرافية أو الزراعية أو البيئية .... الخ ، وبالتالي فكل فريق يقدم تعريفا لنظم المعلومات الجغرافية طبقا لمفهومه و طريقة تطبيقه واستفادته من هذه التقنية. ومن هذه التعريفات:

تعريف Smith 1987: نظام المعلومات الجغرافي هو نظام قاعدة المعلومات الذي يحتوي علي معلومات مكانية مرتبة بالإضافة لاحتوائه علي مجموعة من العمليات التي تقوم بالإجابة علي استفسارات عن زاهرة مكانية من قواعد المعلومات.

تعريف Parker 1988: نظم المعلومات الجغرافية هي نظم تكنولوجية للمعلومات تقوم علي تخزين و تحليل و عرض المعلومات المكانية وغير المكانية.

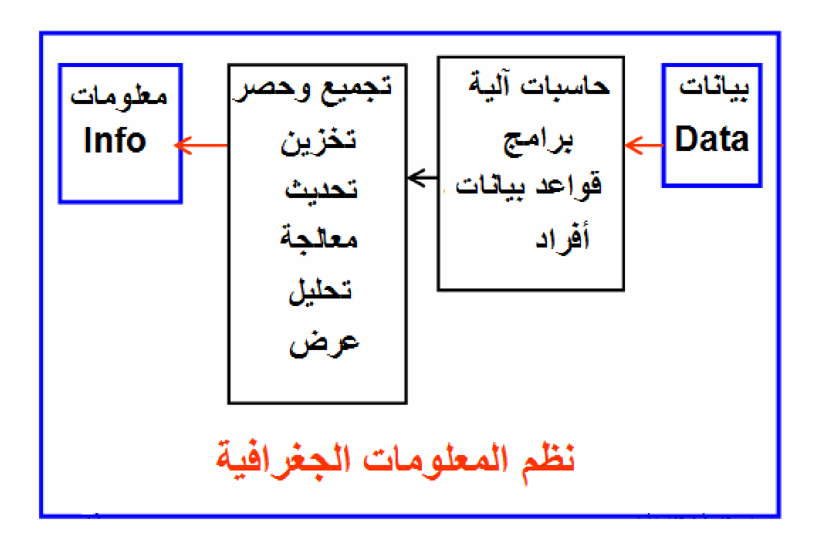
تعريف Devine and Field 1986: نظم المعلومات الجغرافية هي نمط من نظم المعلومات يتيح عرض خرائط المعلومات عامة.

تعريف Zoeltz 1989: يتشعب مفهوم نظم المعلومات الجغرافية في شقين أحدهما البرامج وكيفية حصر المعلومات و تخزينها و معالجتها للاستفادة منها لتحقيق هدف معين والآخر قاعدة معلومات تعتمد علي الإحداثيات الجيوديسية التي تسهل التعامل معه.

تعريف Cowen 1988: نظم المعلومات الجغرافية هي نظم دعم القرار بواسطة دمج المعلومات المكانية لخدمة حل القضايا البيئية.

تعريف مؤسسة ESRI 1990: نظم المعلومات الجغرافية هي مجمع متناسق يضم مكونات الحاسب الآلي و البرامج و قواعد البيانات والأفراد المدربين ويقوم هذا المجمع بحصر دقيق للمعلومات المكانية و غير المكانية و تخزينها و تحديثها و معالجتها و تحليلها و عرضها.

ربما يكون تعريف مؤسسة ESRI هو الأعم و الأشمل الذي يقدم صورة عامة واضحة عن مكونات و أهداف نظم المعلومات الجغرافية.



شكل (١١-١) نظم المعلومات الجغرافية

نظم المعلومات الجغرافية مبنية – في جزء كبير منها - علي أساسيات عدد من العلوم الأخرى التي يجب أن يلم بها المتخصص في نظم المعلومات الجغرافية ومنها علوم المساحة الأرضية ، المساحة التصويرية سواء الجوية أو الاستشعار عن بعد ، الإحصاء ، علوم الحاسب الآلي ، الجغرافيا ، و علم الخرائط أو الكارتوجرافيا.

يختلف الكثيرون في تحديد ما إذا كانت نظم المعلومات الجغرافية علما أم مجرد تقنية. يري البعض أنها علما يقع بين منطقة التداخل بين عدة علوم أخري مثل المساحة و الحاسب الآلي والإحصاء و الجغرافيا. كل مفتاح يتم النقر عليه في أي برنامج من برامج نظم المعلومات الجغرافية ما هو إلا تنفيذ مجموعة من الخطوات التي يرجع أصلها إلي واحدة من العلوم المذكورة. فعلي سبيل المثال فأن أمر "تغيير المسقط" داخل برنامج نظم المعلومات الجغرافية قائم علي تنفيذ مجموعة من المعادلات المساحية الرياضية (المساحة الجيوديسية) التي تحدد خطوات حساب تغيير مسقط الخريطة Map Projection من نوع لأخر وكذلك معادلات نقل الإحداثيات من مرجع جيوديسي لأخر. بناءا علي ذلك فان نظم المعلومات الجغرافية تكون – من وجهة نظر من يقوم بتطويرها وابتكار أدوات جديدة بداخلها – علما من العلوم الحاسوبية و المعلوماتية. علي الجانب الأخر فان من يقوم باستخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية – كما هي - في مجال تخصصه ينظر إليها علي أنها تقنية جديدة تساعده في تطبيقات عملية في مجال عمله و هؤلاء هم مستخدمي نظم المعلومات الجغرافية.

النظرة العامة لتطبيق نظم المعلومات الجغرافية أنها تقدم لمستخدميها الإجابة علي خمسة أسئلة للوصول لإجابات تناقش كلا من: الموقع Location والشرط Condition و المنحي Trend و النمط Pattern و النموذج Model.

(أ) الموقع: ماذا يوجد في موقع محدد؟ تجيب نظم المعلومات الجغرافية بعرض بيانات (خريطة وبيانات وصفية) للمظاهر الموجودة في مكان محدد.

(ب) الشرط: أين يقع هذا المطلوب؟ تجيب نظم المعلومات الجغرافية بتحديد المواقع التي يتوافر بها شروط أو مواصفات معينة.

(ج) المنحي: ما الذي تغير؟ تجيب نظم المعلومات الجغرافية بتحديد حالة موقع معين في تواريخ مختلفة للتعرف عن المتغيرات الحادثة به.

(د) النمط: كيف تتوزع الظاهرات مكانيا؟ تجيب نظم المعلومات الجغرافية بتحديد نمط توزيع ظاهرة معينة في بقعة جغرافية محددة.

(ذ)النموذج: ماذا لو؟ تجيب نظم المعلومات الجغرافية بصياغة ظاهرة طبيعية و فهم تواريخها و أماكن حدوثها بحيث يمكن التنبؤ بالتغيرات التي قد تطرأ عليها.

تتميز نظم المعلومات الجغرافية بالعديد من المميزات التي تشمل:

- دمج المعلومات المكانية وغير المكانية في قاعدة معلومات واحدة.
- القدرة العالية علي تحليل البيانات المكانية وغير المكانية.
- سرعة الوصول لكم كبير من المعلومات بفاعلية عالية.
- سهولة العمل و توفير الوقت.
- توثيق البيانات بمواصفات محددة.
- القدرة علي التمثيل المرئي للمعلومات المكانية.
- القدرة علي الإجابة علي الاستعلامات و الاستفسارات الخاصة بالمكان أو معلوماته الوصفية.
- المساعدة علي اتخاذ القرار في أسرع وقت.
- نشر المعلومات لقاعدة كبيرة من المستفيدين.
- التخطيط الدقيق للمشروعات الجديدة و التوسعية.
- التنبؤ و التوقع المستقبلي.
- التنسيق بين الجهات ذات العلاقة قبل اتخاذ القرار.

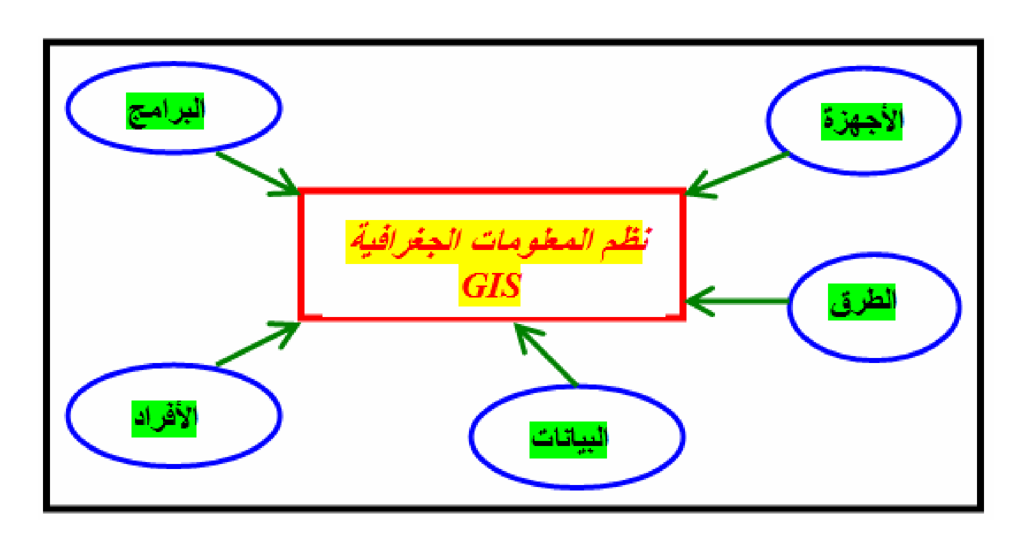
تستخدم نظم المعلومات الجغرافية في العديد من المجالات منها:

- المساحة و تطوير الخرائط الرقمية بكافة أنواعها الهندسية و الجيولوجية و الزراعية .....الخ.
- دراسات سطح الأرض ومظاهرها و استخداماتها و ملكياتها.
- الخدمات العامة وتخطيط شبكات المياه و الكهرباء و الهاتف و المواصلات و النقل ....الخ.
- علوم الأرض والجيولوجيا و استكشاف الموارد الطبيعية من معادن و بترول و غاز ومياه جوفية ......الخ.
- المجالات الحيوية و البيئية والزراعية.

- الخدمات البشرية التاريخية و الأثرية والسياحية وخدمات الطوارئ من إسعاف و دفاع مدني.
- البنية التحتية في المدن و التجمعات السكنية.
- التخطيط العمراني و المدني و الإقليمي.
- الاستخدامات العسكرية و الأمنية.

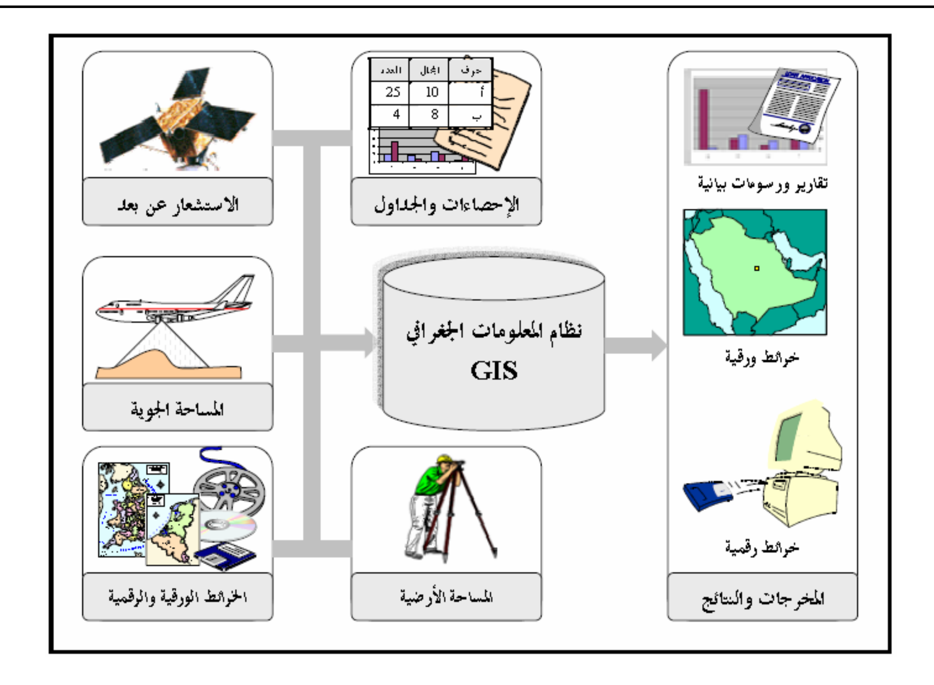
١١-٣ مكونات نظم المعلومات الجغرافية

يتكون نظام المعلومات الجغرافية من خمسة مكونات أساسية تشمل البيانات و الأجهزة و البرامج والطرق والأفراد.



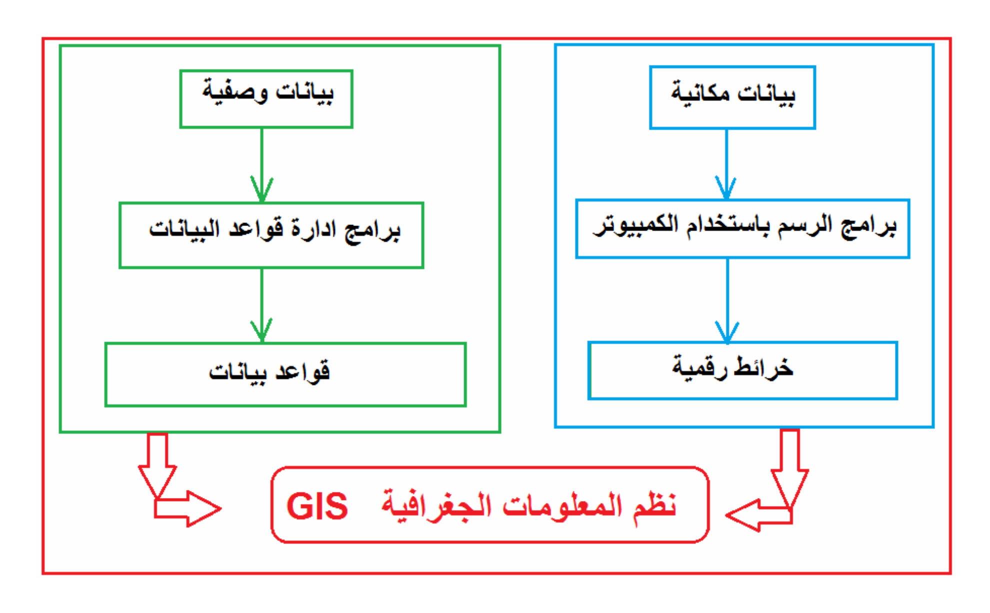
شكل (١١-٢) مكونات نظم المعلومات الجغرافية

تنقسم البيانات في نظم المعلومات الجغرافية إلي: (١) بيانات مكانية Spatial Data تعبر عن مواقع (إحداثيات) الظواهر المكانية و (٢) بيانات غير مكانية أو بيانات وصفية Attribute Data والتي تشمل كافة البيانات المتعلقة بالموقع بخلاف إحداثياته. فمثلا عند إنشاء نظام معلومات جغرافية للمدارس في مدينة ما فأن البيانات المطلوبة ستتكون من إحداثيات موقع كل مدرسة (بيانات مكانية) و البيانات الوصفية لكل مدرسة مثل أسمها و مرحلتها الدراسية وعدد طلابها و عدد معلميها .... الخ. يتم الحصول علي البيانات المكانية من خلال عدد من الوسائل تشمل: الرفع المساحي الأرضي ، قياسات النظام العالمي لتحديد المواقع GPS ، الخرائط والمخططات الهندسية المتوفرة للمنطقة ، الصور الجوية و المرئيات الفضائية. بينما يتم الحصول علي البيانات الوصفية (غير المكانية) من عدة مصادر مثل: الخرائط ، الصور الجوية و المرئيات الفضائية ، الإحصائيات و التقارير الحكومية، الوسائط المتعددة من أفلام و صور فوتوغرافية ، الزيارات الميدانية.



شكل (١١-٣) مصادر البيانات في نظم المعلومات الجغرافية

تنوع البيانات إلي مكانية و غير مكانية هو الفرق الرئيسي بين تقنيتي الخرائط الرقمية Computer Mapping و نظم المعلومات الجغرافية. ففي الخرائط الآلية أو الرقمية فالبرامج (مثل برنامج الأوتوكاد AutoCAD الشهير) تتعامل مع البيانات المكانية فقط لرسم الخريطة والتصميم باستخدام الكمبيوتر. بينما تتعامل برامج نظم المعلومات الجغرافية مع الخرائط الرقمية (البيانات المكانية) بالإضافة لقواعد البيانات غير المكانية مما يتيح عدة مميزات لهذه البرامج في الربط بين كلا نوعي البيانات وإمكانيات التحليل الإحصائي و المكاني للبيانات.



شكل (١١-٤) نظم المعلومات الجغرافية والخرائط الرقمية

يتطلب إنشاء نظام معلومات جغرافية عددا من الأفراد المدربون تقنيا علي استخدام الأجهزة و البرامج بكفاءة. تتعدد وظائف فريق نظم المعلومات الجغرافية لتشمل: مدخل بيانات، مرقم أو

راسم خرائط،، مبرمج نظم، محلل نظم، مدير قواعد بيانات، مدير نظام معلومات جغرافي. أي أن نظام المعلومات الجغرافية يحتاج عددا من التخصصات التي تشمل مهندسي المساحة والجغرافيون ومبرمجي الحاسبات الآلية ومتخصصي قواعد البيانات الرقمية.

أما مصطلح الطرق أو المناهج - المستخدم كأحد مكونات نظم المعلومات الجغرافية- فيعود إلي الأعمال النظامية المتعلقة بادرة و تطوير النظام والتي لا تتعلق بالجانب التقني له. تشمل الطرق إدارة المشروعات وتدريب الموارد البشرية و الجوانب المالية و القانونية المتعلقة بنظام المعلومات الجغرافية.

١١-٣-١ أجهزة نظم المعلومات الجغرافية

تشمل الأجهزة أو العتاد Hardware اللازمة لنظم المعلومات الجغرافية: (١) أجهزة الحاسبات، (٢) أجهزة إدخال Input، (٣) أجهزة إخراج Output. تتعدد أجهزة الحاسبات بين أجهزة حاسبات شخصية PC أو أجهزة محطات العمل Work Stations ذات المواصفات و القدرات التقنية العالية من حيث سرعة المعالجات Processors Speed و قدرات التخزين.

تشمل أجهزة إدخال البيانات عدة أنواع منها:

- لوحة المفاتيح
- الفارة أو الماوس
- الفلاش والأقراص المدمجة CD or DVD
- القلم الضوئي
- الكاميرا الرقمية
- الميكروفون
- أجهزة المساحة سواء الأرضية أو الجيوديسية (مثل الميزان الرقمي و الثيودليت الرقمي و المحطة الشاملة و أجهزة GPS) التي تتصل مباشرة بالحاسب الآلي ومن ثم تفريغ كل القياسات الحقلية مباشرة للكمبيوتر.
- طاولة الترقيم أو المرقم Digitizer: لوحة تشبه لوحة الرسم لكنها تحتوي علي شبكة الكترونية أسفلها بحيث تمثل شبكة إحداثيات (س،ص) تغطي الطاولة، بالإضافة للمرقم وهو فأرة أو ماوس من نوع خاص متصل بالطاولة إما سلكيا أو لاسلكيا وتكون طاولة الترقيم متصلة بالحاسب الآلي بكابل. تعتمد فكرة عمل طاولة الترقيم علي استشعار موقع المرقم بالنسبة للطاولة وتحديد إحداثياته ونقلها إلي الحاسب الآلي. إذا تم وضع خريطة علي طاولة الترقيم (نتخيل أننا وضعنا شفافة فوق الخريطة) فأننا نستخدم المرقم كما لو كان قلم رصاص (أو مرسمه) لرسم نسخة من الخريطة. يتم نقل إحداثيات كل نقطة يمر عليها المرقم – من خلال الضغط علي زر من مفاتيح المرقم – إلي الحاسب الآلي ، وتستمر هذه العملية إلي أن يتم رسم كافة تفاصيل المعالم الموجودة علي الخريطة الأصلية ومن ثم نحصل علي نسخة الكترونية أو رقمية منها. قد تكون طاولة الترقيم صغيرة الحجم لترقيم الخرائط الصغيرة بحجم A4 or A3 أو قد تكون طاولة كبيرة لترقيم الخرائط الكبيرة بحجم A0.
- الماسح الضوئي Scanner: جهاز يشبه آلة تصوير المستندات من حيث أنه يغطي الخريطة بأشعة ضوئية لنسخها لكنه يرسل النتيجة إلي الحاسب الآلي وليس طباعتها

علي الورق. تعتمد فكرة عمل المرقم علي تسجيل الانعكاس الضوئي من الخريطة الأصلية وإرسال هذه القيم للحاسب الآلي ليستطيع ترجمتها وتجميعها ليكون نسخة رقمية من الخريطة الأصلية. توجد عدة أنواع من الماسحات الضوئية تختلف من حيث الحجم و الإمكانيات التقنية. بعض الماسحات تستطيع التفرقة بين الظواهر المرسومة علي الخريطة الأصلية (من اختلاف انعكاسها الضوئي بكل دقة) ومن ثم يمكنها رسم الخريطة الرقمية مكونة من عدد من الظاهرات (خطوط و مضلعات و نقاط)، لكن هذا النوع من الماسحات الضوئية مرتفع الثمن جدا. أما المسحات الضوئية البسيطة تقنيا ورخيصة الثمن فهي لا تستطيع التفرقة بين قيم الانعكاس الضوئي بدقة عالية وبالتالي فهي تكون صورة من الخريطة الأصلية لكنها لا تفرق بين نوع ظاهرة وأخري علي الخريطة (أي أنها كما لو كانت مجرد صورة فوتوغرافية من الخريطة الأصلية). أما من حيث الحجم فتوجد ماسحات ضوئية صغيرة ورخيصة لمسح الخرائط من مقاس A4 or A3 كما توجد ماسحات ضوئية كبيرة الحجم للخرائط من مقاس A0.



شكل (١١-٥) بعض أجهزة إدخال البيانات في نظم المعلومات الجغرافية

مع أن الماسحات الضوئية ذات المواصفات التقنية العالية تعد أسهل وأسرع في التعامل مع الخرائط الورقية وتحويلها إلي خرائط رقمية مباشرة مع التمييز بين كل ظاهرة و أخري، إلا أنها مرتفعة الثمن وقد لا تناسب كل مستخدمي نظم المعلومات الجغرافية. أيضا فمن عيوب طاولات الترقيم أنها متصلة بحاسب إلي واحد ولا يمكن نقل الطاولة من مكان لأخر مما يجعل عملية الترقيم ذاتها عملية متعبة و بطيئة. من هنا تم ابتكار أسلوب الترقيم من علي الشاشة On-Screen Digitizing ليجمع بين مميزات كلا الجهازين لكن بأسلوب رخيص الثمن. في هذا الأسلوب يتم استخدام الماسحات الضوئية البسيطة في الحصول علي صورة من الخريطة الأصلية (سيتعامل معها الحاسب علي أنها مجرد صورة لا يستطيع التفرقة بين معالمها) ويتم وضع هذه الصورة علي الشاشة ثم استخدام فأرة الكمبيوتر (الماوس) كما لو كان قلم رصاص

(مرسمه) لشف كل معلم من معالم صورة الخريطة ورسمه بكل دقة في ملف رقمي يعطي الخريطة الرقمية بكفاءة.

أيضا تتعدد أجهزة إخراج البيانات في نظم المعلومات الجغرافية وتشمل:

- الشاشة
- السماعات
- الفلاش والأقراص المدمجة CD or DVD
- الطابعات Printers
- الراسمات (طابعات الخرائط) Plotters



شكل (١١-٦) بعض أجهزة إخراج البيانات في نظم المعلومات الجغرافية

١١-٣-٢ برامج نظم المعلومات الجغرافية

تتعدد برامج نظم المعلومات الجغرافية GIS Software لتشمل عدد كبير من البرامج التجارية المتاحة في الأسواق. لكن ربما يعد برنامج Arc GIS من إنتاج شركة ESRI هو الأشهر خاصة في المنطقة العربية. كما أنتجت شركة AutoDesk صاحبة برنامج الرسم والتصميم الشهير AutoCAD برنامجها لنظم المعلومات الجغرافية المسمي AutoCAD Map 3D. كما تحتل برامج GeoMedia و Map Info مكانة متقدمة في برامج نظم المعلومات الجغرافية.

في الفترة الأخيرة بدأ ظهور برامج نظم معلومات جغرافية مفتوحة المصدر Open Source وهي برامج غير تجارية يتعاون بعض مصممي البرامج و المتخصصين من عدة تخصصات علمية في تطويرها مع إتاحة برامج التشغيل الأساسية لها Source Codes لكافة المستخدمين بحيث يكون لديهم إمكانية تطوير البرنامج ذاته وإضافة أدوات جديدة له كلا حسب تخصصه و استخداماته. ومن هذه البرامج مفتوحة المصدر برنامج Map Window وبرنامج Quantum وبرنامج GRASS.

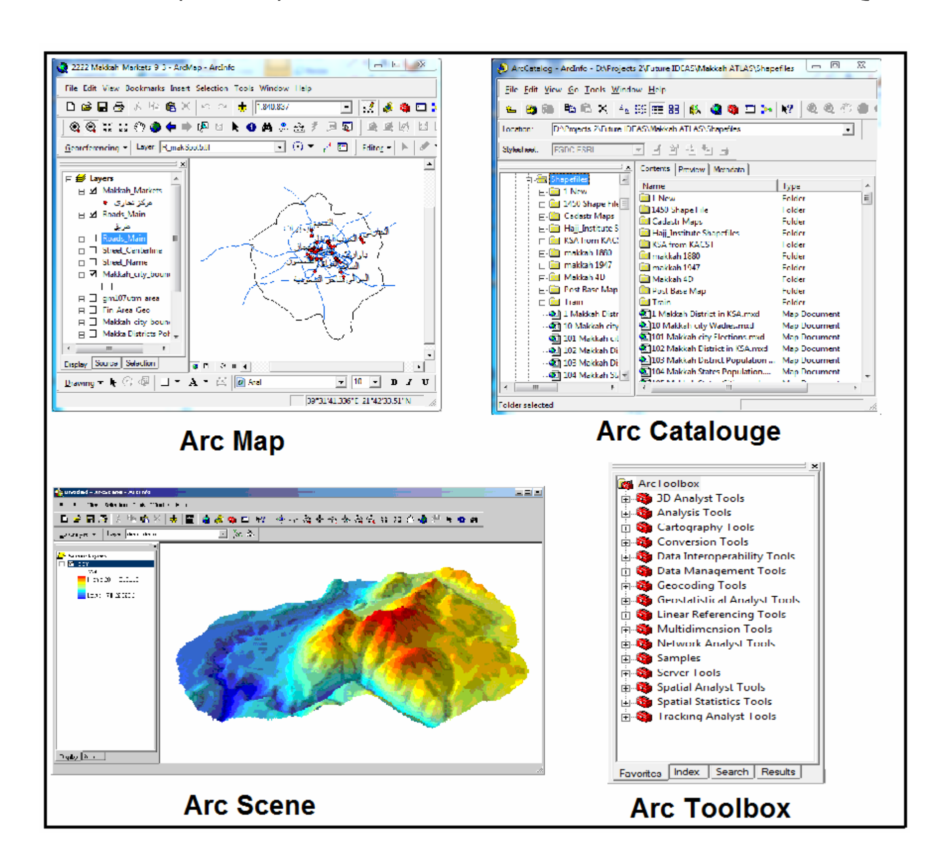
يأتي برنامج Arc GIS في ثلاثة مستويات تقنية من حيث الإمكانيات الفنية: المستوي الأساسي المعروف باسم Arc View ، المستوي القياسي المعروف باسم Arc Editor، ثم المستوي

الأكثر تقدما والشامل لجميع الإمكانيات الفنية والمعروف باسم Arc Info. والنسخة الحالية من Arc GIS هي الإصدار العاشر. يتكون Arc GIS من عدد من البرامج تشمل:

- برنامج Arc Map لتحرير البيانات والتحليل ورسم الخرائط.
- برنامج Arc Catalogue لإدارة الملفات من نسخ و حذف و إنشاء ... الخ.
- برنامج Arc Toolbox الذي يضم أدوات تحليل و معالجة البيانات وأدوات تخصصية في كافة التخصصات مثل الهيدرولوجي و الخرائط ومعالجة المرئيات.
- برنامج Arc Object للبرمجة programming وإعداد أدوات جديدة داخل Arc GIS باستخدام لغة Visual Basic Application (VBA).
- برنامج Arc Globe لعرض البيانات العالمية ثلاثية الأبعاد (الضخمة) علي المستوي العالمي.
- برنامج Arc Scene للعرض التفاعلي المتحرك للبيانات مثل الطيران التخيلي فوق منطقة معلوم لها أبعادها الثلاثية 3D Animation.

كما توجد برامج أخري من شركة ESRI مثل:

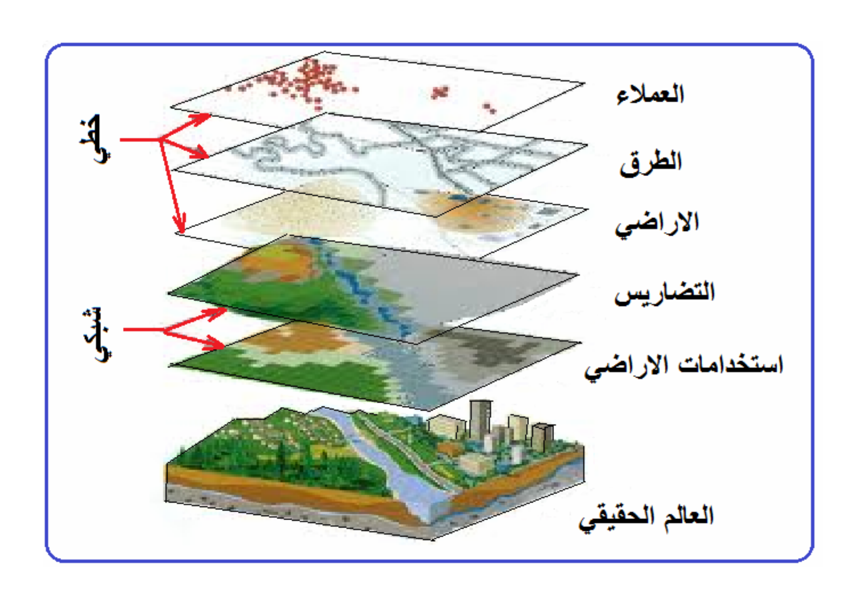
- برنامج Arc Reader وهو برنامج مجاني لعرض ملفات نظم المعلومات الجغرافية التي تم تطويرها ببرنامج Arc GIS.
- برنامج Arc IMS (تغير أسمه إلي ArcGIS Server) لتبادل ومشاركة بيانات نظم المعلومات الجغرافية علي الانترنت بين عدد من المستخدمين.
- برنامج Arc Publisher لعرض البيانات علي الانترنت حتى لمن ليس لديهم البرنامج الأصلي Arc GIS.
- برنامج Arc PAD للأجهزة المحمولة سواء الجوالات (الموبايل) أو أجهزة ipad.



شكل (١١-٧) مكونات برنامج نظم المعلومات الجغرافية Arc GIS

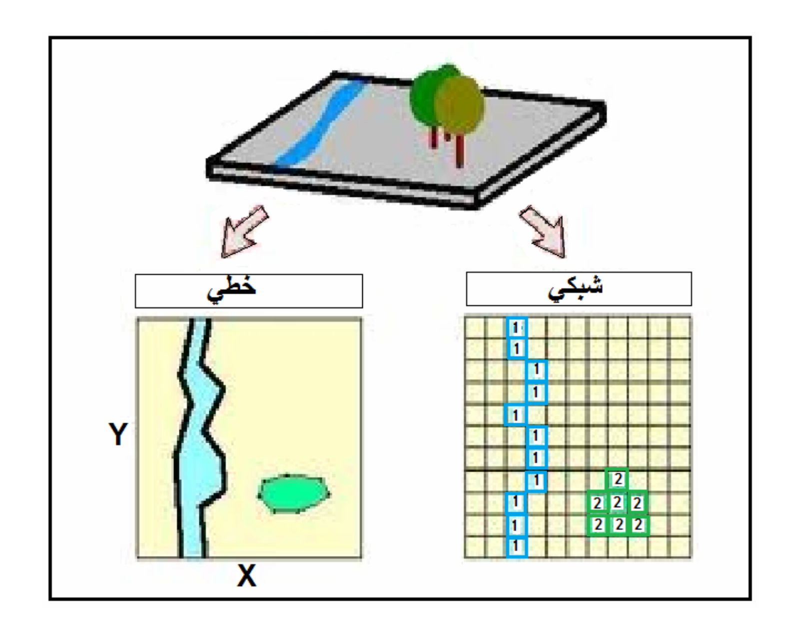
١١-٤ تمثيل البيانات فى نظم المعلومات الجغرافية

يقوم نظام المعلومات الجغرافية بتمثيل الظاهرات الموجودة في بقعة معينة من سطح الأرض من خلال عدة ملفات أو ما يعرف باسط الطبقات Layers. تكون كل طبقة ممثلة لنوع محدد من الظاهرات الجغرافية، فعلي سبيل المثال عند تمثيل حي من أحياء مدينة معينة فأننا نقوم برسم الشوارع في طبقة و المباني السكنية في طبقة ثانية و الأشجار في طبقة ثالثة .... الخ ، فإذا قمنا بعرض كل هذه الطبقات علي الشاشة في نفس الوقت فأننا نحصل علي تمثيل للواقع الحقيقي الموجود في هذه المنطقة.



شكل (١١-٨) تمثيل البيانات في نظم المعلومات الجغرافية

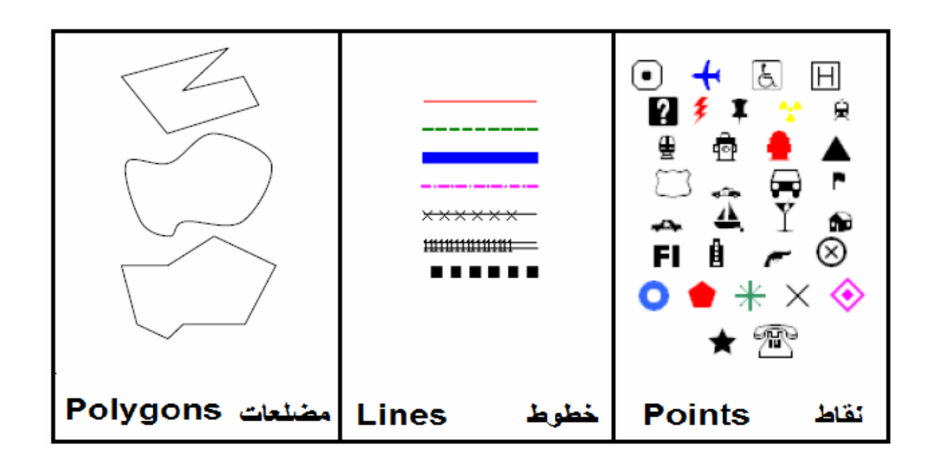
يتم تمثيل البيانات في نظم المعلومات الجغرافية من خلال نموذجين: (١) البيانات الخطية أو الاتجاهية Vector Data، (٢) البيانات الشبكية أو الخلوية Raster Data.



شكل (١١-٩) أنواع البيانات في نظم المعلومات الجغرافية

نموذج البيانات الخطية Vector هو تمثيل كافة ظاهرات طبقة من خلال سلسلة متتابعة من الإحداثيات كما في الخريطة الورقية. فالنقطة عبارة عن إحداثيين س،ص لموقع محدد وليس لها مساحة أو بعد، بينما الخط عبارة عن سلسلة من النقاط المحددة الإحداثيات وله بعد (طول) وليس له مساحة، بينما المضلع عبارة عن ظاهرة معينة تنتشر في مساحة محددة ويحيط بها خط. وبالتالي فأن نموذج البيانات الخطية يتكون من ثلاثة أنواع من طرق تمثيل الظاهرات إما في نقطة Point أو خط Line or Arc أو مضلع Polygon. قد تختلف طريقة تمثيل نفس الظاهرة بناءا علي مقياس الرسم المستخدم وحدود المنطقة الممثلة في الطبقة ، فعلي سبيل المثال فأن كل حي في مدينة معينة سيتم تمثيله كمضلع عند رسم طبقة لتفاصيل هذه المدينة بينما سيتم رسم المدينة كلها كنقطة عند تمثيل الدولة ككل في طبقة.

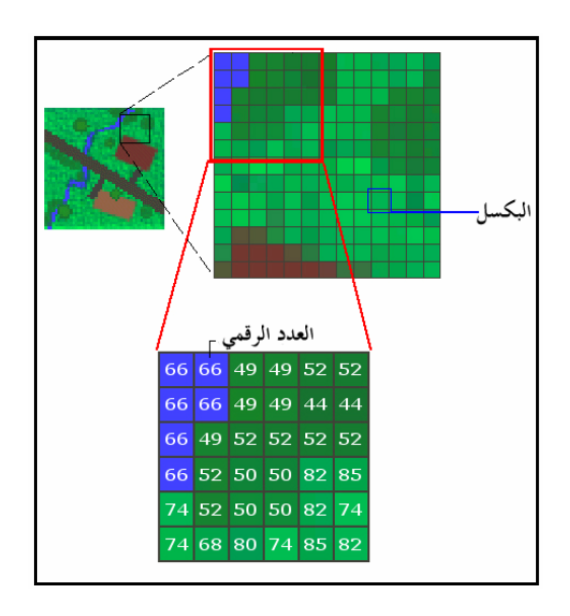
يتميز نموذج البيانات الخطية بالعديد من المميزات أهمها: (١) الدقة في تمثيل مواقع الظاهرات، (٢) حجم تمثيل البيانات لا يتطلب مساحة تخزين كبيرة في الحاسوب سواء في الذاكرة RAM أو القرص الصلب Hard Disk، (٣) سهولة إجراء العمليات الحسابية مثل الطول و المساحة و المحيط، (٤) إمكانية تصحيح المعلومات التي تم إدخالها أولا بأول. لكنه – في المقابل – يعاني من عيبين أساسين وهما انه يتطلب جهدا ووقتا كبيرا في إدخال البيانات كما انه يتطلب خبرة جيدة ودقة عالية لمدخل البيانات ذاته. ومع ذلك فأن نموذج البيانات الخطية هو الأكثر استخداما في نظم المعلومات الجغرافية وخاصة في التطبيقات المساحية و الهندسية بصفة عامة.



شكل (١١-١٠) النموذج الخطي لتمثيل البيانات في نظم المعلومات الجغرافية

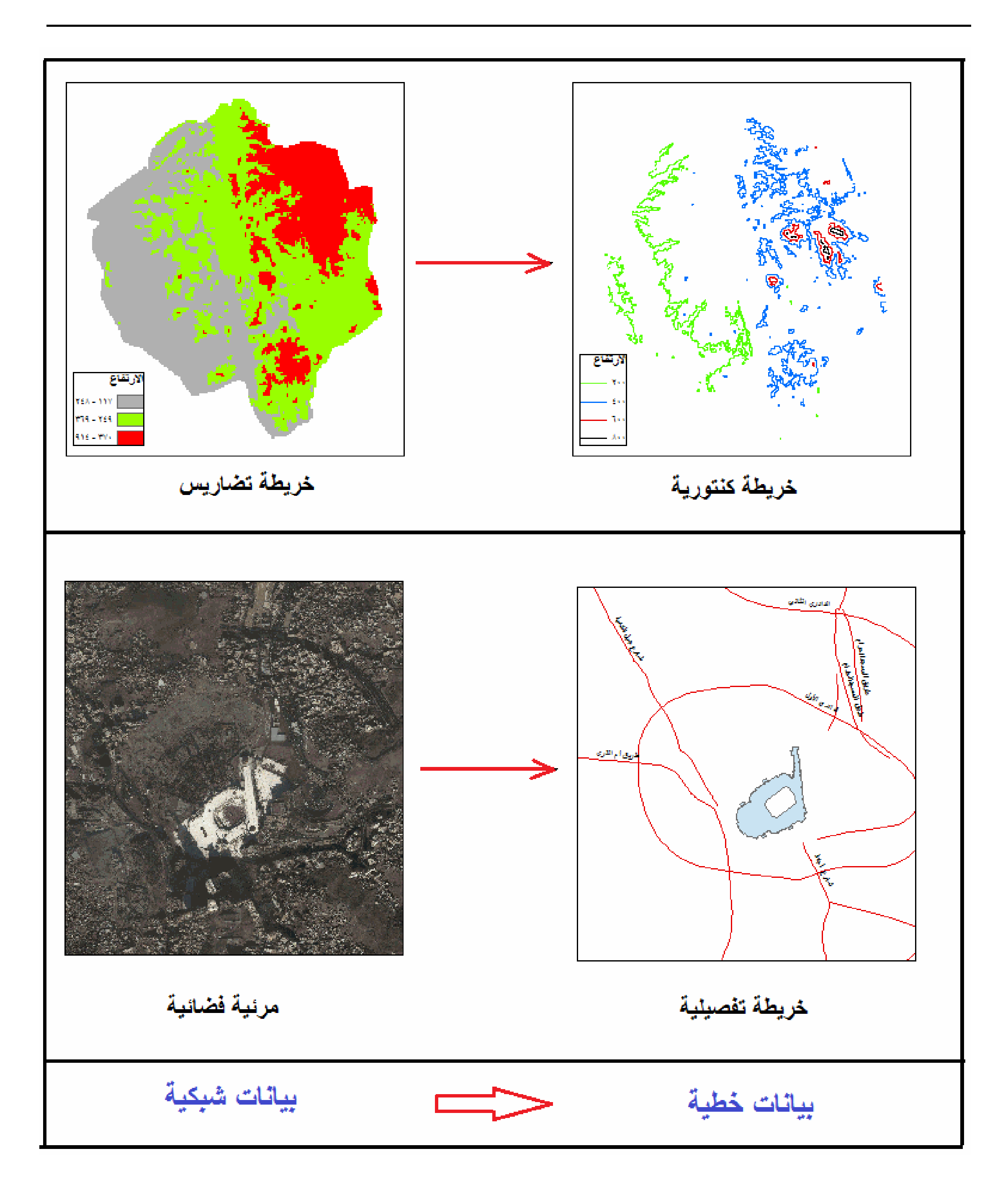
يعتمد نموذج البيانات الشبكية Raster علي فكرة وجود شبكة من المربعات موضوعة علي خريطة ، فإذا انطبق احد المربعات علي نوع معين من الظاهرات فسيحمل هذا المربع رقما يماثل في قيمته كافة نظائره من المربعات التي انطبقت علي نفس الظاهرة. إما إذا انطبق احد مربعات الشبكة علي ظاهرة ثانية في الخريطة فسيحمل هذا المربع رقما ثانيا (مختلفا عن رقم الظاهرة الأولي). وهذه الفكرة تماثل مبدأ التصوير الفوتوغرافي حيث تتكون الصورة من عدد هائل من المربعات متناهية الصغر وتأخذ المربعات لون محدد لتمثيل كل ظاهرة وبالتالي تختلف ألوان الصورة طبقا لاختلاف المظاهر الممثلة عليها. كما سبق الذكر (في الصور الجوية والمرئيات الفضائية) فأن حدود المربع الواحد (أو الخلية pixel) في ملف البيانات الشبكية تحدد دقة الوضوح المكاني أو القدرة التميزية resolution لهذا الملف، فكلما صغر حجم المربع زادت قدرة الوضوح وزادت قدرة تمثيل الظاهرات.

يتميز النموذج الشبكي بقدرته علي تمثيل الظاهرات المستمرة وسرعة إدخال البيانات إلي نظام المعلومات الجغرافية، بينما تتمثل أهم عيوب هذا النموذج في انه يتطلب سعة تخزينية كبيرة وأيضا دقته البسيطة نسبيا في التمثيل المكاني إذ أنها تعتمد علي أبعاد المربع أو الخلية pixel كمل أن قدرته علي التحليل المكاني أقل من النموذج الخطي. يستخدم النموذج الشبكي في الصور الجوية و المرئيات الفضائية بصفة عامة وكذلك في الماسحات الضوئية البسيطة scanners.



شكل (١١-١١) النموذج الشبكي لتمثيل البيانات في نظم المعلومات الجغرافية

يمكن تحويل النموذج الشبكي إلي نموذج خطي من خلال عملية vectorization والبرامج المتخصصة في ذلك مثل برنامج Raster to Vector (R2V) وكذلك عملية الترقيم من الشاشة On-Screen Digitizing السابق شرحها.



شكل (١١-١٢) التحويل بين أنواع البيانات في نظم المعلومات الجغرافية

١١-٥ دقة تمثيل البيانات المكانية

يعتمد نجاح أي نظام معلومات جغرافية علي تمثيله للواقع بدقة مما يجعل مطابقة البيانات مع الموقع الحقيقي لها من أهم عوامل كفاءة ومصداقية نظم المعلومات الجغرافية. تتكون عملية مطابقة نظام المعلومات الجغرافية للموقع الحقيقي للمعلومات علي ثلاثة عناصر: اختيار المرجعية الأرضية المناسبة، اختيار المرجع الجيوديسي المناسب، اختيار نظام إسقاط الإحداثيات المناسب. يواجه بعض مستخدمي نظم المعلومات الجغرافية العديد من المشكلات الفنية في حالة عدم الإلمام بالقواعد المساحية لهذه العناصر الثلاثة وقد يؤدي مثل هذا الوضع لتقليل الدقة المكانية لنظام المعلومات الجغرافية ذاته. فعلي سبيل المثال عند إضافة طبقتين مختلفتين لنفس المنطقة الجغرافية (طبقة شوارع و طبقة استخدامات أراضي مثلا) فقد يجد المستخدم عدم تطابق مكاني بين نفس الظاهرات الجغرافية ويلاحظ وجود إزاحة (فرق إحداثيات) بين موقعي نفس الهدف الأرضي في كلتا الطبقتين، وفي بعض الأحيان يشك المستخدم أن احدي الطبقتين بها مشكلة في دقتها المكانية. قد يكون السبب في ذلك اختلاف المرجع الجيوديسي ونظام الإسقاط بين الطبقتين دون أن يدري المستخدم بذلك. تحدث هذه المشكلة دائما للمستخدم المبتدئ خاصة عندما يقوم بتوقيع إحداثيات بعض المواقع التي قام برصدها بأجهزة GPS ويجد أن موقع نفس الأهداف مختلف عن موقعها علي خريطة جغرافية لنفس المنطقة. والسبب في هذه الفروق أو الإزاحة هو أن تقنية GPS تقوم بقياس الإحداثيات نسبة للمرجع الجيوديسي العالمي المعروف باسم WGS84 بينما من الممكن أن تكون الخريطة الجغرافية منسوبة لمرجع جيوديسي محلي مختلف. سيتم تناول موضوع المراجع الجيوديسية و نظم إسقاط الخرائط و التحويل بينهما بالتفصيل في فصل المساحة الجيوديسية.

الإرجاع الجغرافي أو اختيار المرجعية الأرضية Geo-Referencing هي عملية تحديد الإحداثيات الحقيقية لحدود منطقة العمل أو بمعني أخر تعريف إحداثيات المشروع أو الطبقة. إن الصور الممسوحة ضوئيا تكون بإحداثيات غير حقيقية فالجهاز يحدد إحداثيات س،ص افتراضية لكل نقطة علي الصورة لكي يستطيع رسم الصورة الرقمية للخريطة الأصلية المطلوب مسحها ضوئيا، وبالتالي عند إضافة هذه الصور لنظام المعلومات الجغرافية فأن إحداثياتها لا تعبر عن المنطقة الجغرافية الحقيقية علي سطح الأرض التي تغطيها هذه الصور. من هنا فأن أولي خطوات التعامل مع هذه الصور هو تحديد إحداثياتها الجغرافية الحقيقية، وذلك عن طريق تحديد عدد من النقاط المرجعية Tic Points (لا يقل عددهم عن ٤ ويفضل أن يغطوا كافة أرجاء أو أركان الصورة) علي الصورة ثم إدخال إحداثياتهم الجغرافية الحقيقية لبرنامج نظم المعلومات الجغرافية. إن كانت الصورة الممسوحة ضوئيا لخريطة فأن الخريطة الأصلية يكون لها شبكة إحداثيات ومن هنا يمكن تحديد الإحداثيات الجغرافية الحقيقية لهذه النقاط المرجعية المطلوبة. إما إن كان التعامل مع ملف مرئية فضائية فلا يكون عليها شبكة إحداثيات وهنا يلزم استخدام أجهزة GPS في تحديد إحداثيات النقاط المرجعية ميدانيا ثم إدخالها لبرنامج نظم المعلومات الجغرافية. و بهذا الأسلوب فأن البرنامج يحدد الموقع الحقيقي للمنطقة الجغرافية التي تغطيها هذه الصورة ومن ثم يمكنه استنباط interpolation إحداثيات أي نقطة علي الصورة. فإذا تم ترقيم هذه الصورة فأن المعالم التي سيتم رسمها في ملف الطبقة الجديدة ستكون بنفس الإحداثيات الحقيقية ومن ثم فأنها ستعبر عن الموضع الجغرافي الحقيقي لهذه الظاهرات الجغرافية.

الفصل الثاني عشر

نظرية الأخطاء

يعتمد علم المساحة في المقام الأول علي الأرصاد (القياسات) والتي مهما بلغت دقة قياسها فلن تعطي نتائج صحيحة بصورة مطلقة بل سيكون بها خطأ مهما كان صغيرا جدا. فعلي سبيل المثال إذا قام راصد ذو خبرة كبيرة مستخدما جهاز ثيودليت دقيق بقياس زاوية ما عدد من المرات فلن تكون قيمة الزاوية واحدة في كل هذه القياسات. لذلك من الضروري علي دارس المساحة أن يلم بمصادر الأخطاء و أنواعها و كيفية التغلب عليها – إن أمكن – أو كيفية التعامل معها حسابيا للوصول إلي قيمة أقرب للصحة للكمية (مسافة أو زاوية أو فرق منسوب ...الخ) التي يتم قياسها.

١٢-١ مصادر و أنواع الأخطاء

الخطأ هو مقدار الفرق بين القيمة المقاسة (المرصودة) والقيمة الحقيقية لها. لكن من الصعب – إن لم يكن من المستحيل – أن نعرف القيمة الحقيقية لأي قياس، ولذلك فنستعيض عنه بالقيمة الأكثر احتمالا له.

تحدث الأخطاء نتيجة ثلاثة أسباب أو مصادر هي:

(أ) أخطاء إلية:
أخطاء ناتجة عن عيوب الأجهزة المستخدمة في القياس والتي يمكن التغلب عليها من خلال ضبط الجهاز ضبط دائم و معايرته كل فترة و إتباع خطة معينة في الرصد (مثل الرصد متيامن و متياسر بجهاز الثيودليت) وتصحيح أو ضبط الأرصاد من خلال معادلات رياضية (مثلا ضبط زوايا المثلث بحيث يساوي مجموع زواياه ١٨٠ درجة).

(ب) أخطاء شخصية:
أخطاء ترجع للراصد ذاته مثل عدم اعتنائه بعملية الرصد بصورة سليمة أو قلة خبرته العملية.

(ج) أخطاء طبيعية:
أخطاء ترجع أسبابها لتغير الظروف الطبيعية أثناء عملية الرصد مثل تغير تأثير الانكسار الجوي علي الميزان في فترات اليوم الواحد.

تنقسم أنواع الأخطاء إلي أربعة أنواع تشمل:

(١) الغلط أو الخطأ الجسيم Mistake or Blunder or Gross Error:

هو قيمة شاذة تجعل القيم المرصودة غير متجانسة مع بقية الأرصاد المماثلة، وينتج عن قلة الخبرة أو الإهمال في القياس. مثلا عند قياس زاوية عدة مرات فتكتب قيمتها في احدي المرات ١٥٣ درجة بدلا من ١٣٥ درجة، أو التوجيه علي نقطة "أ" وتسجيل قراءة الزاوية علي أنها لنقطة "ب". فإذا تم قياس مسافة عدة مرات كالتالي: ٥٦.٣٢، ٥٦.٣٨، ٥٦.٤٠، ٥٧.٣٨، ٥٦.٣٥، ٥٦.٣٩ متر، فيمكن بالملاحظة اكتشاف أن القيمة ٥٧.٣٨ تعد غلط أو

خطأ جسيم حيث أن باقي القيم متقاربة مع بعضها في حدود سنتيمترات بينما هذه القيمة تبعد عنهم بمتر كامل تقريبا. يمكن اكتشاف الغلط من خلال الحرص في المراجعة والتحقق من كل خطوة من خطوات الرصد ثم استبعاده نهائيا من عملية الحسابات المساحية. تجدر الإشارة إلي أن الغلط هو أخطر أنواع الأخطاء وأشدها تأثيرا علي دقة العمل في حالة عدم اكتشافه.

(٢) الخطأ التراكمي Accumulative Error:

هو خطأ صغير القيمة نسبيا (عند مقارنته بقيمة الغلط) يتكرر بنفس المقدار و الإشارة إذا تكرر القياس تحت نفس الظروف وباستخدام نفس الأجهزة ونفس الراصدين. الخطأ المنتظم خطا تراكمي بمعني أن قيمته تزيد كلما تكرر القياس، فمثلا إذا كان هناك خطأ ١٠ سنتيمتر في شريط طوله ٢٠ متر وأستخدمنا هذا الشريط في قياس مسافة تبلغ ١٠٠ متر فأن خطا منتظم قيمته ١٠ سنتيمتر سيكون في كل طرحة (رصدة أو جزء من المسافة، أي في كل ٢٠ متر مقاسه) مما سيجعل الخطأ المنتظم سيبلغ ١٠ سنتيمتر × ٥ مرات قياس = ٥٠ سنتيمتر في نهاية هذه المسافة. يتم التغلب علي الخطأ المنتظم إما بإضافة التصحيحات اللازمة له أو بوضع خطة دقيقة لعملية الرصد ذاتها، ويجب أن يتم ذلك قبل استخدام الأرصاد في العمليات الحسابية المساحية.

(٣) الخطأ المنتظم Systematic Error:

يشبه الخطأ المنتظم الخطأ التراكمي في طبيعته إلا أنه قد يكون تراكميا بنفس المقدار والإشارة وقد يختلف في قيمته و إشارته من أجزاء العمل الحقلي. كمثال تأثير عوامل الطقس (الحرارة والرطوبة) علي قياسات الزوايا و المسافات المقاسة الكترونيا سواء بأجهزة EDM أو المحطات الشاملة، ولذلك توجد معادلات رياضية لحساب قيمة هذا الخطأ المنتظم بناءا علي قيم درجات الحرارة و الرطوبة المقاسة أثناء عملية الرصد الميداني. يتم التغلب علي الأخطاء المنتظمة من خلال إجراء التصحيحات اللازمة أو بوضع خطة دقيقة لعملية الرصد واختيار أنسب ظروف القياس. أيضا يجب أن يتم التغلب علي الأخطاء المنتظمة و تصحيحها (مثل الأخطاء التراكمية) قبل استخدام الأرصاد في العمليات الحسابية المساحية.

(٤) الخطأ العشوائي أو العارض Random or Accidental Error:

الخطأ العشوائي خطأ متغير غير ثابت لا في القيمة ولا في الإشارة ولا يمكن التنبؤ به ولا معرفة مصدره الرئيسي، ولذلك فأسمه العشوائي. توجد الأخطاء العشوائية - مهما صغرت قيمتها - في كل القياسات ويتم التعامل معها بطرق رياضية لمحاولة الوصول إلي القيمة الأكثر احتمالا للكميات المطلوب حساب قيمتها الدقيقة. وهذا هو موضوع نظرية الأخطاء Theory of Errors أو عملية الضبط Adjustment.

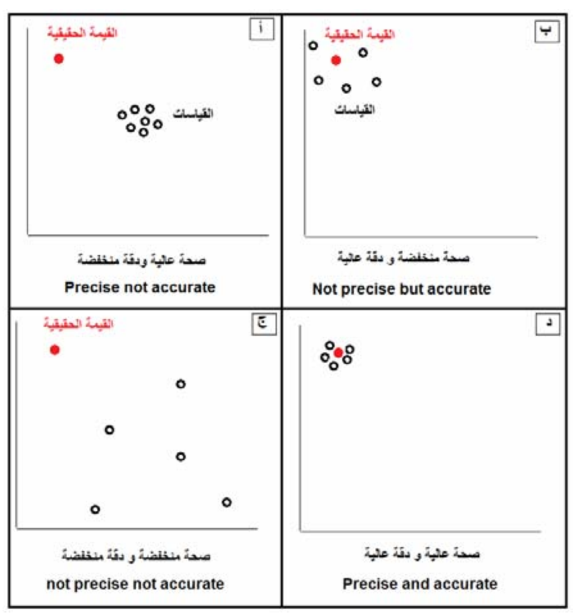
١٢-٢ مبادئ إحصائية في المساحة

(أ) الدقة Accuracy والصحة Precision:

يجب علي دارس المساحة أن يفرق بين كلا المفهومين وخاصة – للأسف – أن بعض الكتب باللغة العربية تترجم كلا الكلمتين إلي "دقة" مع أنه يوجد اختلاف جذري بينهما. فالصحة (البعض يسميها الإحكام أو الدقة الظاهرية) Precision تدل علي مدي تقارب مجموعة من القياسات لنفس الهدف، أي أن الصحة هي درجة التوافق بين عدة قياسات لقيمة واحدة، أو هي درجة تنقية الأرصاد من الأخطاء معروفة المصدر وإزالة تأثيرها علي القياسات. بينما الدقة Accuracy تدل علي مدي قرب هذه الأرصاد من القيمة الحقيقية لها، أو بمعني آخر فالدقة هي درجة الكمال في الأرصاد وخلوها من الأخطاء بقدر الإمكان.

لنأخذ مثالا: تم قياس مسافة عدد من المرات فكانت النتائج ٨.٢٤ ، ٨.٢٦ ، ٨.٢٠ ، ٨.٢٢ متر. هذه الأرصاد متقاربة جدا من بعضها مما يجعلنا نقول أن "صحة" الأرصاد عالية. لكن ماذا لو كان الشريط المستخدم في هذه الأرصاد به خطأ منتظم قيمته ٢٠ سنتيمتر مثلا، هنا ستكون كل القياسات بعيدة عن القيمة الحقيقية للمسافة المقاسة ، أي أنها "دقة" الأرصاد ستكون منخفضة.

الشكل التالي يمثل أربعة حالات للفرق بين الدقة و الصحة: (أ) فان كانت القياسات متقاربة جدا من بعضها البعض لكنها في نفس الوقت بعيدة عن القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة عالية لكن الدقة منخفضة، (ب) أما إن كانت القياسات متباعدة عن بعضها البعض لكنها في نفس الوقت قريبة من القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة منخفضة لكن الدقة عالية، (ج) أما إن كانت القياسات متباعدة عن بعضها البعض وأيضا بعيدة عن القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة منخفضة والدقة منخفضة أيضا، (د) أما إن كانت القياسات متقاربة جدا من بعضها البعض وفي نفس الوقت قريبة من القيمة الحقيقية فهنا تكون الصحة عالية والدقة عالية أيضا.



شكل (١٢-١) الدقة و الصحة

من الصعب معرفة القيمة الحقيقية لأي قيمة مقاسة لتحديد دقة القياسات، وغالبا نستطيع حساب قيمة هي الأكثر احتمالا أو الأكثر قربا للقيمة الحقيقية. مثلا إذا قممنا بقياس زاوية عدة مرات – وتأكدنا من عدم وجود أية أغلاط أو أخطاء منتظمة أو أخطاء تراكمية – ثم قمنا بحساب متوسط هذه الأرصاد فأنه سيكون أقرب وأكثر احتمالا للقيمة الحقيقية لهذه الزاوية. لكي نحدد مقياس للدقة يتم مقارنة القيمة الأكثر احتمالا (المتوسط) بقيمة المسافة التي تم قياسها بطريقة أدق، فمثلا نقارن متوسط المسافات المقاسة بالشريط مع قيمة المسافة المقاسة بالمحطة الشاملة ونقارن متوسط الزاوية المقاسة بالثيودليت مع قيمة الزاوية المحسوبة من أرصاد النظام العالمي لتحديد المواقع GPS، ونقارن إحداثيات GPS مع إحداثيات تقنية أخري أكثر تقدما ودقة مثل VBLI. Accurate

يمكن تقسيم الأرصاد المساحية إلي مجموعتين:

(١) أرصاد مباشرة Direct Observations:

عند قياس الكمية المطلوبة قياسا مباشرا فمثلا قياس المسافة مباشرة وكذلك قياس الزوايا المطلوبة ... الخ. تسمي هذه الكميات في هذه الحالة كميات مستقلة Independent Observations أي لا تعتمد علي أية أرصاد أو كميات أخري.

(٢) أرصاد غير مباشرة Indirect Observations:

هي الكميات التي لا يمكن قياسها مباشرة لكن يتم عمل أرصاد لكميات أخري والتي منها سيتم تحديد أو حساب قيم الكميات الأصلية المطلوبة. فمثلا قياس طول وعرض مربع بهدف حساب مساحته، وعند حساب إحداثيات نقاط ترافرس فنقيس زوايا و أضلاع الترافرس والتي هنا تمثل أرصاد غير مباشرة. وتسمي الأرصاد غير المباشرة كميات تابعة Dependant Observations لأنها تعتمد في تحديد قيمتها علي قيم أرصاد أخري تتأثر بها.

القيمة الأكثر احتمالا Most-Probable Value:

من الصعب – إن لم يكن من المستحيل – معرفة القيمة الحقيقية لأي كمية مقاسة وذلك لوجود أخطاء في القياس مهما كانت قيمة هذه الأخطاء صغيرة جدا. إن كانت الأرصاد مستقلة ولا تعتمد علي بعضها البعض وقمنا بتكرار القياس عدة مرات فأن قيمة المتوسط الحسابي ستمثل القيمة الأكثر احتمالا أو الأكثر توقعا أو الأكثر قربا للقيمة الحقيقية.

المتوسط الحسابي = مجموع الأرصاد / عدد الأرصاد (١٢-١)

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n} \qquad (12\text{-}1)$$

حيث:

y_i تمثل الأرصاد $y_1, y_2, y_3, \ldots\ldots y_n$

n تمثل عدد الأرصاد

الخطأ الحقيقي True Error:

هو الفرق بين القيمة المرصودة والقيمة الحقيقية لها. وبما أن القيمة الحقيقية لا يمكن معرفتها ففي معظم الأحيان فان الخطأ الحقيقية أيضا لا يمكن معرفته. لكن في بعض الحالات يمكن معرفة الخطأ الحقيقي من خلال مواصفات أو قواعد هندسية معلومة فمثلا عند قياس الزوايا الثلاثة لمثلث فيجب أن يساوي مجموع الزوايا ١٨٠ درجة، ففي هذه الحالة يكون الخطأ الحقيقي هو ناتج طرح مجموع الزوايا المقاسة من ١٨٠.

الخطأ الحقيقي = القيمة المرصودة – القيمة الحقيقية (١٢-٢)

$$\varepsilon_i = y_i - \mu \quad (12\text{-}2)$$

حيث:
μ القيمة الحقيقية
ε الخطأ الحقيقي

الأخطاء المتبقية أو الفروق Residuals or Discrepancies:

الفرق أو الخطأ المتبقي (أو الباقي) هو الفرق بين القيمة المرصودة و القيمة الحقيقية لها. لكننا نستعيض عن القيمة الحقيقية بالقيمة الأكثر احتمالا لها وبذلك يكون الخطأ المتبقي:

الفرق = القيمة الأكثر احتمالا – القيمة المرصودة (١٢-٣)

$$v_i = \bar{y} - y_i \quad (12\text{-}3)$$

حيث:
v الخطأ المتبقي أو الفرق

التباين Variance:

التباين هو مؤشر إحصائي يحدد مدي تباين أو انتشار أو تشتت مجموعة من الأرصاد حول القيمة الحقيقية لها أو القيمة الأكثر احتمالا لها، ولذلك يوجد نوعين من التباين:

تباين المجتمع Population Variance:

إذا تم قياس **كل** الأرصاد الممكنة للقيمة المطلوبة فأن تباين المجتمع يساوي مجموع مربعات الأخطاء **الحقيقية** مقسوما علي عدد الأرصاد:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2}{n} \quad (12\text{-}4)$$

حيث ε الخطأ الحقيقي لكل رصدة (وهو كما ذكرنا غير معلوم بسبب أن القيمة الحقيقية غالبا غير معلومة).

تباين العينة Sample Variance:

إذا تم قياس **عينة** أو مجموعة من الأرصاد للقيمة المطلوبة فأن تباين هذه العينة يساوي مجموع مربعات الأخطاء **المتبقية** (وليست الأخطاء الحقيقية) مقسوما علي عدد الأرصاد ناقص واحد:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2}{n-1} \qquad (12\text{-}5)$$

حيث: v الخطأ المتبقي أو الفرق لكل رصدة.

أي أننا في حسابات المساحة نتعامل مع تباين العينة وليس تباين المجتمع وذلك بسبب حساب تباين المجتمع يتطلب معرفة القيمة الحقيقية وهي غير معلومة وبالتالي لا يمكننا معرفة قيم الأخطاء الحقيقية (في المعادلة ١٢-٤) وذلك بالإضافة إلي أننا لا نستطيع قياس كل الأرصاد الممكنة للقيمة المطلوب قياسها.

الخطأ المعياري Standard Error:

الخطأ المعياري هو الجذر التربيعي لقيمة تباين المجتمع.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2}{n}} \qquad (12\text{-}6)$$

الانحراف المعياري Standard Deviation:

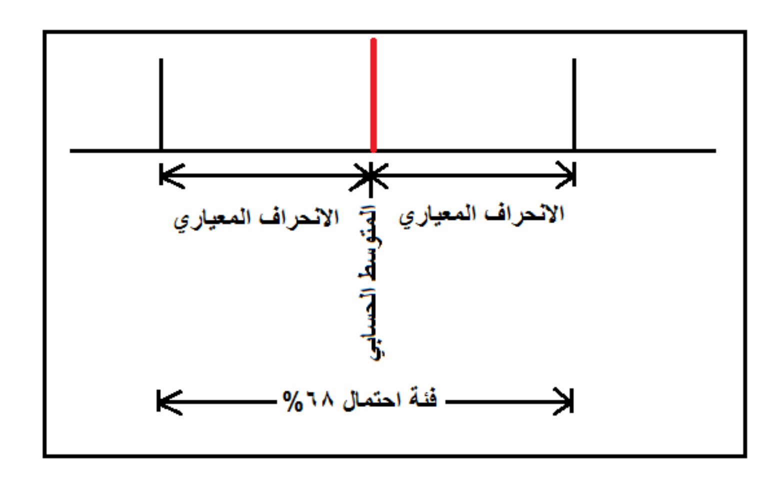
يعبر الانحراف المعياري (يطلق عليه أيضا أسم الخطأ التربيعي المتوسط Mean Square Error) عن مدي انحراف (ابتعاد أو اقتراب) القيمة المقاسة عن القيمة الأكثر احتمالا لها، وقيمته تساوي الجذر التربيعي لقيمة تباين العينة:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2}{n-1}} \qquad (12\text{-}7)$$

ترجع أهمية قيمة الانحراف المعياري إلي وجود احتمال بنسبة ٦٨% أن القيمة الحقيقية ستقع في مدي يتراوح بين (المتوسط + الانحراف المعياري) و (المتوسط - الانحراف المعياري). مثال: إذا كان متوسط عدد من القياسات لمسافة يساوي ٥٣.٢١ متر وكان الانحراف المعياري للقياسات يساوي ± ٠.٠٣ متر فأن القيمة الحقيقية لهذه المسافة ستقع باحتمال ٦٨% بين ٥٣.٢١+٠.٠٣ و ٥٣.٢١-٠.٠٣ أي بين ٥٣.٢٤ و ٥٣.١٩ متر.

بمعني آخر يمكن القول أن ٦٨% من القياسات أو الأرصاد يحتمل أن يكون بها خطـأ قيمتـه تساوي قيمة الانحراف المعياري سواء بإشارة موجبة أو سالبة.

كلما صغرت قيمة الانحراف المعياري صغرت حدود هذه الفئـة مما يـدل علـي أن القياسـات أقـرب مـا تكـون للقيمـة الحقيقيـة، والعكس صـحيح فكلمـا كبـرت قيمـة الانحـراف المعيـاري زادت حدود الفئة مما يعطي انطباعا أن القياسات أو الأرصاد بعيدة عن القيمة الحقيقية.



شكل (١٢-٢) العلاقة بين المتوسط و الانحراف المعياري

أيضا يجب ملاحظة أن الانحراف المعياري يعتمد علي عدد الأرصاد (n في المعادلـة ١٢-٧)، أي أن كلمـا زاد عدد الأرصـاد أو القياسـات كلمـا زاد اقتـراب هـذه القياسـات مـن القيمـة الحقيقية لها وبالتالي تزداد الثقة في القياسـات. وهذا مـن أهـم مبـادئ العمـل المساحي بصفة عامة حيث دائما نفضل أن نقيس الكمية عدد من المرات ولا نكتفي بقياسها مرة واحدة فقط.

<u>الانحراف المعياري للمتوسط Standard Deviation of the Mean:</u>

الانحراف المعياري للمتوسط الحسابي هو حاصـل قسمة الانحـراف المعيـاري للعينـة علـي الجذر التربيعي لعدد الأرصاد:

$$S_{\bar{y}} = \pm \frac{S}{\sqrt{n}} \qquad (12\text{-}8)$$

تعبـر قيمـة الانحـراف المعيـاري عـن مـدي تـشتت أو تباعـد القياسـات عـن بعـضها الـبعض وبالتالي فهي قيمة معبرة عن مدي التوافق بين الأرصـاد ومـن ثـم فـأن الانحـراف المعيـاري يؤخذ علـي أنـه مقياس أو مؤشر للـصحة Precision. وفـي العمـل المساحي لا نعبـر عـن القيمة الأكثر احتمالا بقيمة المتوسط فقط إنمـا بقيمتـي المتوسـط و الانحـراف المعيـاري معـا، فنقول أن المسافة المقاسة – علي سبيل المثال – تساوي ٥٣.٢١ ± ٠.٠٣ متر.

بالعودة لتعريف كلا من الصحة و الدقـة نـستطيع القـول أن الانحـراف المعيـاري (الـذي هـو أساسا مؤشر للـصحة Precision) يمكنـه أن يعبـر عـن الدقـة Precision في حالـة خلـو الأرصاد بقدر الإمكان من الأخطاء المنتظمة والأخطاء التراكمية والأغلاط. ففـي حالـة خلـو

الأرصاد من مصادر الأخطاء المعروفة فأن القياسات لن يكون بها إلا الأخطاء العشوائية فقط وبالتالي ستقترب قيم الأخطاء المتبقية أو الفروق من قيم الأخطاء الحقيقية وستقترب القيمة الأكثر احتمالا من القيمة الحقيقية للكمية المقاسة، ومن هنا فأن قيمة الانحراف المعياري ستقترب من قيمة الخطأ الحقيقي مما يجعل الانحراف المعياري يعبر - بدرجة كبيرة - عن الدقة. هنا تأتي أهم مبادئ العمل المساحي وهو أنه يحاول تحقيق أعلي درجة من الدقة في الرصد الحقلي سواء دقة الأجهزة المستخدمة أو دقة أساليب الرصد الميداني واتخاذ كافة الاحتياطات و تطبيق مواصفات الرصد وزيادة عدد الأرصاد مما يجعل الأرصاد المساحية خالية بقدر الإمكان من الأخطاء معلومة المصدر وبذلك فتكون نتائج الحسابات المساحية معبرة عن دقة الكميات المطلوب تحديدها.

مثال ١:

قيست مسافة ستة مرات فكانت الأرصاد كالتالي: ٥١.١٢، ٥١.١٤، ٥١.١٨، ٥١.١٩، ٥١.٢٢، ٥١.١٦ متر. أحسب القيمة الأكثر احتمالا لهذه المسافة.

مجموع المسافات المقاسة = ٥١.١٢ + ٥١.١٤ + ٥١.١٨ + ٥١.١٩ + ٥١.٢٢ + ٥١.١٦ = ٣٠٧.٠١ متر

المتوسط الحسابي = مجموع المسافات ÷ عددهم = ٣٠٧.٠١ ÷ ٦ = ٥١.١٦٨ متر

نحسب الخطأ المتبقي لكل قياس = المتوسط - الرصدة
الخطأ المتبقي للرصدة رقم ١ = ٥١.١٦٨ – ٥١.١٢ = ٠.٠٤٨ متر
الخطأ المتبقي للرصدة رقم ٢ = ٥١.١٦٨ – ٥١.١٤ = ٠.٠٢٨ متر
وهكذا كما في العمود الثالث من الجدول التالي.

نحسب مربع كل خطأ متبقي للقياسات:
مربع الخطأ المتبقي للرصدة رقم ١ = ٠.٠٤٨ × ٠.٠٤٨ = ٠.٠٠٢٣٣٦ متر مربع
مربع الخطأ المتبقي للرصدة رقم ٢ = ٠.٠٢٨ × ٠.٠٢٨ = ٠.٠٠٠٨٠٣ متر مربع
وهكذا كما في العمود الرابع من الجدول التالي.

نحسب مجموع مربعات الأخطاء المتبقية = ٠.٠٠٦٤٨٣ متر مربع

نحسب تباين العينة (المعادلة ١٢-٥) = ٠.٠٠٦٤٨٣ ÷ (٦-١))
= ٠.٠٠١٢٩٦٧ متر مربع

نحسب الانحراف المعياري (المعادلة ١٢-٧) = جذر (٠.٠٠١٢٩٦٧)
= ٠.٠٣٦ متر.

م	القياسات Y	الفروق v	مربع الفروق v2
1	51.12	0.048	0.002336
2	51.14	0.028	0.000803
3	51.18	-0.012	0.000136
4	51.19	-0.022	0.000469
5	51.22	-0.052	0.002669
6	51.16	0.008	0.000069

العدد	6		
المجموع	307.010		0.006483
المتوسط	51.168		

تباين المجتمع			0.0012967
الانحراف المعياري			0.036
الانحراف المعياري للمتوسط			0.015

القيمة الأكثر احتمالا = المتوسط ± الانحراف المعياري
= ٥١.١٦٨ ± ٠.٠١٥ متر.

١٢-٣ مبدأ الوزن في القياسات المساحية

في المثال السابق قمنا بحساب المتوسط و الانحراف المعياري للمسافة التي تم قياسها عدد من المرات لكننا افترضنا أن كل القياسات متساوية في الدقة و الأهمية. ماذا لو كانت بعض القياسات قد تمت باستخدام الشريط بينما القياسات الأخرى تمت باستخدام جهاز EDM؟ هل ستكون كل القياسات متساوية في الأهمية ومقدار الثقة بها؟ هنا يأتي دور الوزن weight ليكون مفهوما يعبر عن مدي اختلاف أهمية أو الثقة في بعض القياسات. فكلما كانت الثقة في الرصدة كبيرة فيكون وزنها (أهميتها النسبية) كبيرا والعكس صحيح فكلما كانت الثقة ضعيفة في رصدة معينة فيجب أن يكون وزنها أقل. فعلي سبيل المثال إذا قمنا برصد زاوية معينة مرة باستخدام محطة شاملة دقتها ١" ومرة أخري باستخدام جهاز ثيودليت دقته ٥" فأن وزن الزاوية الأولي يجب أن يكون – منطقيا- أكبر من وزن الزاوية الثانية حيث أن دقة الجهاز المستخدم أعلي في الأولي من الثانية.

وبناءا علي مبدأ الوزن (أو الأهمية النسبية) فأن طريقة حساب المتوسط ستتغير لنحسب ما نطلق عليه أسم المتوسط الموزون Weighted Mean (لنفرق بينه وبين المتوسط العادي في المعادلة ١٢-١ والذي كان يعتمد علي أن كل القياسات متساوية في الأهمية أو متساوية في الوزن):

المتوسط الموزون = مجموع (حاصل ضرب كل رصدة× وزنها) / مجموع الأوزان

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i \, w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \qquad (12\text{-}9)$$

كما ستتغير أيضا طريقة حساب الانحراف المعياري عند وجود أوزان مختلفة للقياسات (بدلا من المعادلة ١٢-٧) وذلك بحساب الجذر التربيعي لقيمة الناتج من قسمة مجموع حاصل ضرب (مربع الخطأ المتبقي لكل رصدة في وزن الرصدة) علي عدد الأرصاد ناقص واحد:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2 \, w_i}{n - 1}} \qquad (12\text{-}10)$$

كذلك ستتغير معادلة حساب الانحراف المعياري للمتوسط (١٢-٨) لتصبح ناتج قسمة الانحراف المعياري علي الجذر التربيعي لمجموع الأوزان:

$$S_{\bar{y}} = \pm \frac{S}{\sqrt{w}} \qquad (12\text{-}11)$$

<u>مثال ٢:</u>

قيست مسافة ستة مرات فكانت الأرصاد كالتالي: ٥١.١٢، ٥١.١٤، ٥١.١٨، ٥١.١٩، ٥١.٢٢، ٥١.١٦ متر، وكانت أوزان الأرصاد بالترتيب هي ٦، ٥، ٣ ، ١، ١، ٣. أحسب القيمة الأكثر احتمالا لهذه المسافة.

نحسب مجموع الأوزان = ٦ + ٥ + ٣ + ١ + ١ + ٣ = ١٩

نحسب حاصل ضرب الرصدة × وزنها:
للرصدة رقم ١ = ٥١.١٢ × ٦ = ٣٠٦.٧٢٠
للرصدة رقم ٢ = ٥١.١٤ × ٥ = ٢٥٥.٧٠٠
وهكذا كما في العمود الرابع من الجدول التالي.

مجموع (الرصدة×الوزن) أي مجموع العمود الرابع = ٩٧١.٨٥٠

من المعادلة ١٢-٩:
المتوسط الحسابي الموزون = مجموع (الرصدة×الوزن) ÷ مجموع الأوزان
= ٩٧١.٨٥٠ ÷ ١٩ = ٥١.١٥٠ متر

نحسب الخطأ المتبقي لكل قياس = المتوسط الموزون - الرصدة
الخطأ المتبقي للرصدة رقم ١ = ٥١.١٥٠ – ٥١.١٢ = ٠.٠٣٠ متر
الخطأ المتبقي للرصدة رقم ٢ = ٥١.١٥٠ – ٥١.١٤ = ٠.٠١٠ متر

وهكذا كما في العمود الخامس من الجدول التالي.

نحسب مربع كل خطأ متبقي للقياسات:
مربع الخطأ المتبقي للرصدة رقم ١ = ٠.٠٣٠ × ٠.٠٣٠ = ٠.٠٠٠٩ متر مربع
مربع الخطأ المتبقي للرصدة رقم ٢ = ٠.٠١٠ × ٠.٠١٠ = ٠.٠٠٠٠١ متر مربع
وهكذا كما في العمود السادس من الجدول التالي.

نحسب حاصل ضرب (الخطأ المتبقي× الوزن):
للرصدة رقم ١ = ٠.٠٠٠٩ × ٦ = ٠.٠٠٥٤ متر
للرصدة رقم ٢ = ٠.٠٠٠١ × ٥ = ٠.٠٠٠٥ متر
وهكذا كما في العمود السابع من الجدول التالي.

نحسب مجموع حاصل ضرب (مربعات الأخطاء المتبقية × الوزن) أي مجموع العمود السابع = ٠.٠١٥٤ متر مربع

نحسب تباين العينة = ٠.٠١٥٤ ÷ (٦-١))
= ٠.٠٠٣٠٨ متر مربع

نحسب الانحراف المعياري (المعادلة ١٢-١٠) = جذر (٠.٠٠٣٠٨)
= ٠.٠٥٥ متر.
القيمة الأكثر احتمالا = المتوسط ± الانحراف المعياري
= ٥١.١٥٠ ± ٠.٠١٣ متر.

م	القياسات y	الأوزان w	الرصدة × الوزن y.w	الفروق V	مربع الفروق v2	مربع الفروق × الوزن w.v2
1	51.12	6	306.72	0.030	0.000900	0.005400
2	51.14	5	255.70	0.010	0.000100	0.000500
3	51.18	3	153.54	-0.030	0.000900	0.002700
4	51.19	1	51.19	-0.040	0.001600	0.001600
5	51.22	1	51.22	-0.070	0.004900	0.004900
6	51.16	3	153.480	-0.010	0.00010	0.00030

العدد	6					
المجموع	307.01	19	971.85		0.00850	0.01540
المتوسط الموزون			51.150			

تباين المجتمع					0.001700	0.003080
الانحراف المعياري						0.055
الانحراف المعياري للمتوسط						0.013

بمقارنة نتائج هذا المثال بنتائج المثال السابق نجد أن:

- قيمة المتوسط الموزون (٥١.١٥٠ متر) تختلف عن قيمة المتوسط العادي (٥١.١٦٨ متر).
- قيمة الانحراف المعياري للمتوسط الموزون (± ٠.٠١٣ متر) أقل من قيمة الانحراف المعياري العادي (± ٠.٠١٥ متر).

يرجع السبب في هذه الاختلافات إلي أننا في المثال الأول قد تعاملنا مع كل الأرصاد بنفس قيمة الوزن أو الأهمية أو مقدار الثقة فيها، بينما في المثال الثاني استطعنا التفرقة بين الأرصاد الموثوق بها (صاحبة الوزن الكبير) والأرصاد قليلة الثقة أو قليلة الأهمية (صاحبة الوزن الصغير) مما يجعل قيمة المتوسط الموزون تكون أقرب للأرصاد الموثوق

بها. وكذلك فأن قيمة الانحراف المعياري في المثال الثاني أقل من المثال الأول بسبب أن الأرصاد صغيرة الوزن لم تعد مؤثرة بدرجة كبيرة مما يقلل من قيمة التباين أو التشتت بين مجموعة الأرصاد ككل وهذا يؤدي لتحسن قيمة الانحراف المعياري للمتوسط.

و كتجربة إذا اعتمدنا فقط علي أول رصدتين (بصفتهما ذات أعلي وزن) فسنجد أن قيمة المتوسط الموزون ستصبح ٥١.١٢٩ متر وأن قيمة الانحراف المعياري له ستصبح ± ٠.٠٠٤ متر.

م	القياسات y	الأوزان w	الرصدة × الوزن y.w	الفروق v	مربع الفروق v2	مربع الفروق × الوزن w.v2
1	51.12	6	306.720	0.009	0.000083	0.000496
2	51.14	5	255.700	-0.011	0.000119	0.000595
العدد	6					
المجموع	102.26	11	562.42		0.000202	0.001091
المتوسط الموزون			51.129			
تباين المجتمع					0.000040	0.000218
الانحراف المعياري						0.015
الانحراف المعياري للمتوسط						0.004

<u>مثال ٣:</u>

تم إجراء ثلاثة خطوط ميزانية بين نقطتين فكانت الأرصاد كالتالي:

الخط الأول: طول الخط = ١٧٠٠ متر ، فرق المنسوب = ٢٩.٤٩٢ متر
الخط الثاني: طول الخط = ٩٠٠ متر ، فرق المنسوب = ٢٩.٤٤٠ متر
الخط الثالث: طول الخط = ١٠٠٠ متر ، فرق المنسوب = ٢٩.٤٨٠ متر

أحسب القيمة الأكثر احتمالا لفرق المنسوب بين هاتين النقطتين.

من مبادئ أعمال الميزانية أن قيمة الخطأ ستزيد كلما زادت المسافة بين النقطتين بسبب أن رصد المسافات الطويلة سيستغرق وقتا أطول وتكون عدد وقفات الميزان أكثر مما يزيد من احتمالات حدوث أخطاء في عملية الرصد الحقلي. لذلك فأننا نأخذ الوزن بحيث أنه يتناسب

عكسيا مع طول خط الميزانية، أي أن الخطوط الطويلة ستأخذ وزنا أقل من الخطوط القصيرة.

وزن الخط الأول = ١ / ١٧٠٠ = ٠.٠٠٠٥٩
وزن الخط الثاني = ١ / ٩٠٠ = ٠.٠٠١١١
وزن الخط الثالث = ١ / ١٠٠٠ = ٠.٠٠١٠٠

المتوسط الموزون = (٠.٠٠٠٥٩×٢٩.٤٩٢) + (٠.٠٠١١١×٢٩.٤٤٠) + (٠.٠٠١٠٠×٢٩.٤٨٠) ÷ (٠.٠٠٠٥٩ + ٠.٠٠١١١ + ٠.٠٠١٠٠) = ٢٩.٤٦٦ متر

الخطأ المتبقي ١ = ٢٩.٤٦٦ - ٢٩.٤٩٢ = - ٠.٠٢٦ متر
الخطأ المتبقي ٢ = ٢٩.٤٦٦ - ٢٩.٤٤٠ = + ٠.٠٢٦ متر
الخطأ المتبقي ٣ = ٢٩.٤٦٦ - ٢٩.٤٨٠ = - ٠.٠١٤ متر

ونكمل باقي خطوات الحساب كما في الجدول التالي:

م	القياسات y	الأوزان w	الرصدة × الوزن y.w	الفروق v	مربع الفروق v2	مربع الفروق × الوزن w.v2
1	29.492	0.00059	0.017	- 0.026	0.00067	0.000000
2	29.44	0.00111	0.033	0.026	0.00068	0.000001
3	29.48	0.00100	0.029	- 0.014	0.00019	0.000000

العدد	6					
المجموع	88.412	0.002699	0.080		0.00154	0.000001
المتوسط الموزون			29.466			

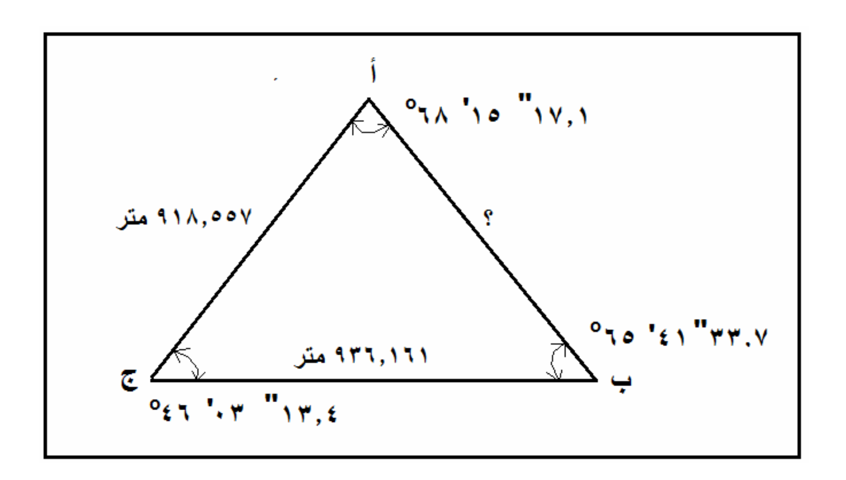
تباين المجتمع					0.00031	0.0000003
الانحراف المعياري						0.001
الانحراف المعياري للمتوسط						0.010

القيمة الأكثر احتمالا لفرق المنسوب بين النقطتين: ٢٩.٤٤٦ ± ٠.٠١٠ متر.

١٢-٤ نبذة ضبط الشبكات Network Adjustment

من مبادئ العمل المساحي إننا نقوم بقياس عدد من الأرصاد أكثر من العدد الفعلي المطلوب وذلك لكي يتوافر لدينا أرصاد زائدة Redundant Observations تمكننا من توفير فرصة للمراجعة و التحقيق الحسابي و فحص الأرصاد. فمثلا من الممكن أن نكتفي بقياس زاويتين في مثلث ونقوم بحساب الزاوية الثالثة لكننا في الواقع نقيس الزوايا الثلاثة حتى نتحقق من أن مجموعهم يساوي ١٨٠ درجة وبالتالي نتأكد من جودة القياسات ونستطيع أن نحدد قيمة الخطأ. وهنا تكون لدينا رصدة واحدة زائدة حيث أن عدد الأرصاد الفعلية للمثلث هو ٢ بينما عدد الأرصاد المقاسة هو ٣.

علي سبيل المثال إذا كان مطلوبا في الشكل التالي حساب طول ضلع المثلث أ ب وقمنا لرصد الزوايا الثلاثة للمثلث و تم قياس طول الضلعين الآخرين أ ج ، ب ج.



شكل (١٢-٣) مثال للأرصاد الزائدة في مثلث

لحساب طول الضلع الثالث للمثلث يلزمنا ٣ أرصاد فقط بينما المتوفر ٥ أرصاد، لذلك يوجد عدة حلول مختلفة منها علي سبيل المثال:

من معادلة جيب الزاوية (المعادلة ٢-١٦):

أ ب = ب ج جا ج / جا أ = ٧٢٥.٧٥٣ متر

أ ب = أ ج جا ج / جا ب = ٧٢٥.٧٥٩ متر

من معادلة جيب تمام الزاوية (المعادلة ٢-١٩):

أب = جذر (ب ج ٢ + أ ج ٢ – ٢ ب ج × أ ج × جتا ج) = ٧٢٥.٩٥٣ متر

للتغلب علي مشكلة وجود عدة حلول (عدة احتمالات للقيمة المطلوبة) فتوجد أربعة أساليب:

(أ) اختيار أنسب مجموعة أرصاد من حيث الثقة فيهم (أدق ٣ قيم في المثال الحالي) وحساب قيمة الضلع المجهول منها. لكن عيب هذه الطريقة أننا سنهمل باقي الأرصاد ولن نستخدمها في الحسابات.

(ب) حساب القيمة المجهولة بإتباع كل الحلول و المعادلات المتاحة ثم حساب متوسط كل هذه الحلول. لكن هذه الطريقة تحتاج وقت أطول ومجهود أكبر بالطبع.

(ج) ضبط الأرصاد بصورة بسيطة (مثل ضبط قيم زوايا المثلث الثلاثة بحيث يساوي مجموعهم ١٨٠ درجة بالضبط) ثم الاعتماد علي الأرصاد المضبوطة أو المصححة في حساب قيمة الكمية المطلوبة (الضلع الثالث في مثالنا الحالي). لكن يعيب هذه الطريقة أنها تحتاج مجهود كبير خاصة في الشبكات المساحية الضخمة ، لكنها قد تكون مناسبة للأعمال البسيطة مثل الترافرسات

(د) ضبط الأرصاد بالاعتماد علي شرط أو خاصية محددة أو بأسلوب معين مشروط. وهنا يأتي ما يسمي بضبط الشبكات Network Adjustment والذي له عدة طرق. أول هذه الطرق ما يعرف باسم طريقة أقل مجموع Least Sum والتي تعتمد علي ضبط الأرصاد بحيث يكون مجموع الأخطاء المتبقية أو الفروق Residuals أقل ما يمكن. والطريقة الثانية لضبط الشبكات تسمي طريقة مجموع أقل المربعات Least-Squares والتي تعتمد علي جعل مربعات الأخطاء المتبقية أقل ما يمكن. وهذه الطريقة هي الأشهر و الأكثر استخداما في أعمال المساحة، ويمكن معرفة تفاصيلها من المراجع الجيوديسية المذكورة في نهاية الكتاب.

الفصل الثالث عشر

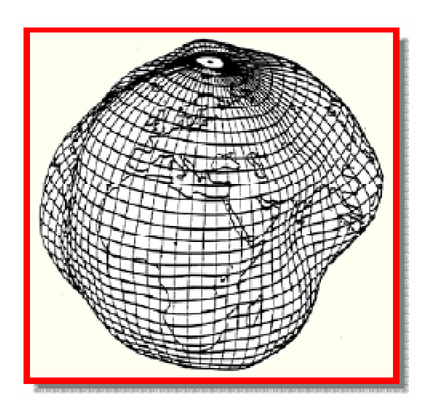
شكل الأرض و نظم الإحداثيات وإسقاط الخرائط

إن إجراء القياسات و تحديد المواقع علي سطح الأرض يعني بداية أن نعرف ما هو الشكل الدقيق لهذا الكوكب الذي نعيش فوقه ، و ما هو المرجع الذي يمكننا أن نفترض أنه الأنسب لتمثيل الأرض رياضيا و خرائطيا. كما أن تحديد الموقع يكون من خلال قيم رياضية تعبر عنه وهي القيم التي نطلق عليها مصطلح "الإحداثيات Coordinates" علي اختلاف أنواعها و نظمها.

١٣-١ شكل الأرض

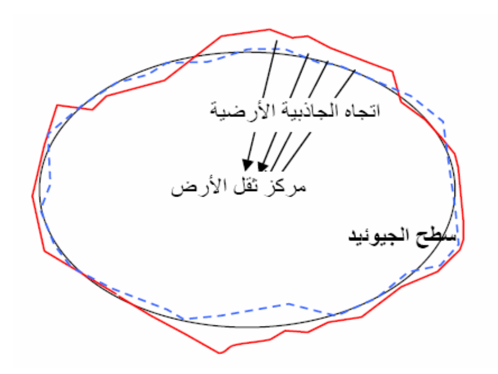
في بدايات المعرفة البشرية ظن الإنسان أن الأرض هي قرص صلب يطفو فوق سطح الماء ، إلي أن تطور التفكير العلمي للبشر قليلا وجاء العالم اليوناني فيثاغورث Pythagoras في القرن السادس قبل الميلاد وافترض أن الأرض كروية الشكل. وكانت أولي محاولات العلماء لتقدير حجم أو محيط هذه الكرة هي تجربة العالم الإغريقي أراتوستين التي سبق الإشارة إليها في الفصل الأول. وفي القرنين الخامس عشر و السادس عشر أيد كلا من الرحالة كولومبوس Columbus و ماجلان Magellan فكرة كروية الأرض من خلال رحلاتهما الشهيرة بالدوران حول الأرض. في عام ١٦٨٧ طور العالم الشهير نيوتن Newtown عدة مبادئ نظرية علمية وكان أهمها: أن الشكل المتوازن لكتلة مائعة متجانسة خاضعة لقوانين الجذب و تدور حول محورها ليس هو شكل الكرة كاملة الاستدارة لكنه شكل مفلطح قليلا باتجاه القطبين. وفي عام ١٧٣٥ قامت أكاديمية العلوم الفرنسية بتنظيم بعثتين لإجراء القياسات اللازمة للتأكد من هذه الفرضية وأثبتت النتائج فعلا أن الأرض مفلطحة وليست كروية الشكل تماما.

إننا نعيش علي سطح كوكب الأرض وعندما نريد أن نحدد أي موقع علي الأرض فنحن بحاجة إلي أن نقوم بتعريف هذا السطح – شكله و حجمه – لكي يمكننا من معرفة في أي مكان نحن نقع بالضبط. إن شكل السطح الطبيعي للأرض كما خلقه الله تعالي بما يضمه من قارات و محيطات و جبال و أودية و بحار ليس شكلا سهلا وليس منتظما لكي يمكن التعبير عنه بسهولة (شكل ١٣-١).



شكل (١٣-١) الأرض غير منتظمة الشكل

بحث العلماء عن شكل افتراضي آخر للأرض يكون أقل تعقيدا واهتدوا إلي فكرة أنه طالما أن مساحة الماء في المحيطات و البحار تشكل حوالي ٧٠% من مساحة الأرض فأن شكل الأرض يكاد يكون هو الشكل المتوسط لسطح الماء (إذا أهملنا حركة سطح الماء بسبب التيارات البحرية و المد و الجزر) Mean Sea Level والمعروف اختصارا بأحرف MSL، وإذا قمنا بمد هذا السطح تحت اليابسة لنحصل علي شكل متكامل فأن هذا الشكل سيكون أقرب ما يكون للشكل الحقيقي للأرض. وتم إطلاق اسم الجيويد أو الجيوئيد Geoid علي هذا الشكل الافتراضي [يجب ملاحظة أن هناك فرق في حدود متر واحد فقط بين كلا من MSL و الجيويد إلا أنه في معظم التطبيقات الهندسية تتغاضي عن هذا الفرق و نعتبر أن كلا الشكلين أو المصطلحين يشيرا لنفس الجسم]. ولكن طبقا لمبدأ نيوتن السابق فأن شكل هذا الجيويد لن يكون منتظما لان سطح الجيويد يتعامد مع اتجاه قوة الجاذبية الأرضية وأيضا يخضع لقوة الطرد المركزية الناتجة عن دوران الأرض حول محورها ، وكلا القوتين تختلفان من مكان لآخر علي سطح الأرض بسبب عدم توزيع الكثافة بشكل منتظم (يختلف سمك القشرة الأرضية من ٦ إلي ٦- كيلومتر) . وبذلك نخلص إلي أن الجيويد (شكل ١٣-٢) هو الشكل الحقيقي للأرض إلا أنه شكل معقد أيضا و يصعب تمثيله بمعادلات رياضية تمكننا من رسم الخرائط و تحديد المواقع عليه.



شكل (١٣-٢) الجيويد: الشكل الحقيقي للأرض

لتعقد الجيويد وصعوبة تمثيله بمعادلات رياضية أتجه العلماء إلي البحث عن أقرب الأشكال الهندسية المعروفة ووجدوا أن القطع الناقص أو الاليبس Ellipse هو الأقرب ، فإذا دار هذا الاليبس حول محوره فسينتج لنا مجسم القطع الناقص أو الاليبسويد أو الشكل البيضاوي Ellipsoid or Ellipsoid of Revolution ويعرف أيضا باسم الاسفرويد Spheroid (لكن اسم الاليبسويد هو الأكثر انتشارا وهو الذي سنستخدمه في هذا الكتاب). ربما يتبادر إلي الأذهان الآن سؤال: ما هو الفرق بين الاليبس و الدائرة أو بمعني آخر ما هو الفرق بين الاليبسويد و الكرة؟ بالنظر لشكل (١٣-٣) نجد أن الاليبسويد مفلطح قليلا عند كلا القطبين بعكس الكرة التي تكون كاملة الاستدارة تماما ، أيضا الكرة لها قطر و احد له نفس القيمة في جميع الاتجاهات بينما نجد الاليبسويد له محورين مختلفين. للتعبير عن الاليبسويد يلزمنا معرفة عنصرين (لاحظ أن الكرة يعبر عنها بعنصر واحد فقط هو نصف قطرها):

- نصف المحور الأكبر (المحور في مستوي خط الاستواء) ويرمز له بالرمز a

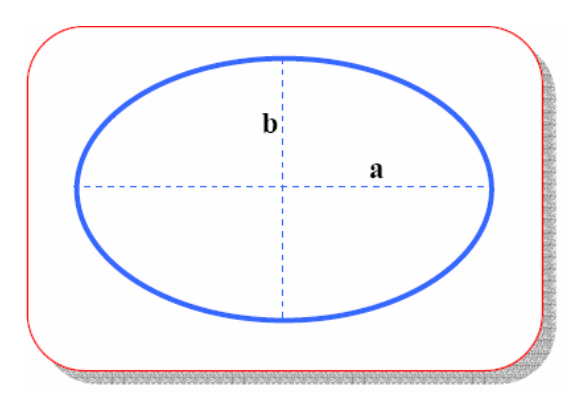
- نصف المحور الأصغر (المحور بين كلا القطبين) ويرمز له بالرمز b

ويقوم البعض بالتعبير عن الاليبسويد بطريقة أخري من خلال العنصرين:

- نصف المحور الأكبر (المحور في مستوي خط الاستواء) ويرمز له بالرمز a

- معامل التفلطح flattening ويرمز له بالرمز f ويتم حسابه من المعادلة:

$$f = (a - b) / a \quad \text{or} \quad f = 1 - (b / a) \qquad (13\text{-}1)$$

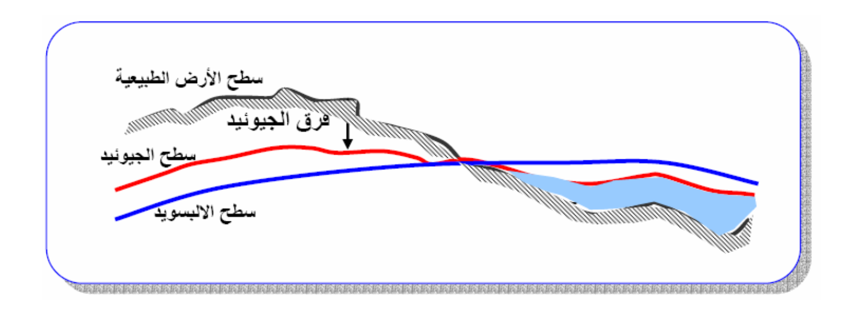


شكل (١٣-٣) الاليبسويد

ويتميز شكل الاليبسويد بعدة خصائص مثل (شكل ١٣-٤):

أ- سهولة إجراء الحسابات علي سطحه (حيث أنه شكل هندسي معروف).

ب- لا يختلف سطح الاليبسويد الرياضي عن سطح الجيويد الفيزيقي كثيرا (أكبر فرق بين كلاهما لا يتعدي ١٠٠ متر فقط. لاحظ أن الفرق بين الجيويد و الكرة يصل إلي ٢١ كيلومتر تقريبا).



شكل (١٣-٤) العلاقة بين الجيويد و الاليبسويد

١٣-٢ المراجع الجيوديسية Datums

لكي يمكن تحديد المواقع علي سطح الأرض يلزمنا اختيار شكل رياضي يعبر عن شكل و حجم الأرض ذاتها وهو ما نطلق عليه اسم الشكل المرجعي Reference Surface. أحد هذه الأشكال المرجعية من الممكن أن يكون الكرة والتي كانت مستخدمة لفترة طويلة لتحديد المواقع التي لا تتطلب دقة كبيرة ولرسم الخرائط التي لا يزيد مقياسها عن ١ : مليون. أيضا للمساحات

الصغيرة جدا (أقل من ٥٠ كيلومتر مربع) من الممكن اعتبار المستوي Plane شكلا مرجعيا وخاصة في تطبيقات المساحة المستوية Plane Surveying. أما لتحديد المواقع بدقة عالية أو لرسم الخرائط الدقيقة فأن الاليبسويد هو الشكل المرجعي المستخدم.

طوال القرنين الأخيرين تعددت محاولات علماء الجيوديسيا لتحديد أنسب اليبسويد يعبر عن شكل الأرض بأقرب صورة ممكنه. وكلما تجمعت قياسات جيوديسية جديدة لدي أحد العلماء أو الجهات الدولية تم حساب قيم جديدة لعناصر تعريف الاليبسويد (سواء a , b أو a , f) مما أدي لوجود العديد من نماذج الاليبسويد ، ويعرض الجدول التالي بعضا من هذه النماذج.

كانت كل دولة عند بدء إقامة الهيكل الجيوديسي أو المساحي لها بغرض البدء في إنتاج الخرائط غالبا ما تختار أحدث اليبسويد – في ذلك الوقت – لتتخذه السطح المرجعي لنظام خرائطها. فإذا ظهر بعد عدة سنوات اليبسويد آخر لم يكن ممكنا – لأسباب تقنية و مادية – أن تقوم هذه الدولة بتغيير السطح المرجعي لها و إعادة إنتاج و طباعة كل خرائطها من جديد. لكن ما هو المرجع؟ من المعروف أن أي اليبسويد يكون أقرب ما يمكن لتمثيل سطح الأرض علي المستوي العالمي، أي أن الفروق بينه وبين الجيويد تختلف من مكان لمكان علي سطح الأرض لكنها أقل ما يمكن علي المستوي العالمي. لكن كل دولة عندما تعتمد اليبسويد معين تريد أن يكون الفرق بينه و بين الجيويد أقل ما يمكن في حدودها ولا تهتم إن كانت هذه الفروق كبيرة في مناطق أخري من العالم. لذلك كانت كل دولة تلجأ لتعديل وضع الاليبسويد المرجعي قليلا Re-Position لكي يحقق هذا الهدف. وفي هذه الحالة – أي بعد إجراء هذا التعديل البسيط – فلم يعد هذا الاليبسويد كما كان في الأصل لكنه صار في وضع مختلف ، وهنا نطلق عليه اسم مرجع أو مرجع جيوديسي أو مرجع وطني أو بيان A geodetic Datum, a local datum, or simply a datum. أي أن المرجع الوطني لأي دولة ما هو إلا اليبسويد عالمي قد تم تعديل وضعه بصورة أو بآخري ليناسب هذه الدولة ويكون أقرب تمثيلا لشكل الجيويد (الشكل الحقيقي للأرض) عند هذه الدولة. كما يجب الإشارة إلي أنه كلما قلت الفروق بين المرجع الوطني لدولة ما و الجيويد كلما زادت دقة الخرائط المرسومة اعتمادا علي هذا المرجع.

بعض نماذج الاليبسويد المستخدمة عالميا

اسم الاليبسويد	نصف المحور الأكبر a بالمتر	نصف المحور الأصغر b بالمتر	الدولة التي تستخدمه
Helmert 1906	٦٣٧٨٢٠٠	٦٢٥٦٨١٨	مصر
Clarcke 1866	٦٣٧٨٢٧٤	٦٣٥٦٦٥١	أمريكا الشمالية
Bassel 1841	٦٣٧٧٣٩٧	٦٣٥٦٠٧٩	وسط أوروبا
Airy 1830	٦٣٧٧٥٦٣	٦٣٥٦٢٥٧	بريطانيا
WGS72	٦٣٧٨١٣٥	٦٣٥٦٧٥٠	عالمي
WGS84	٦٣٧٨١٣٧	٦٣٥٦٧٥٢	عالمي

ولتوضيح هذه النقطة الهامة أكثر سنأخذ مثال لجمهورية مصر العربية. عند بدء أعمال الجيوديسيا و إنشاء الخرائط في مصر في بداية القرن العشرين كان أحدث الييسويد متاح في ذلك الوقت هو الييسويد هلمرت ١٩٠٦. تم اتخاذ القرار باختيار هذا الاليبسويد ليكون سطحا مرجعيا لمصر. وبعد ذلك تم إجراء عدد من التعديلات علي وضع هذا الاليبسويد ليتكون ما يعرف باسم المرجع الوطني المصري ١٩٠٧ Old Egyptian Datum أو اختصارا OED1970. أحد هذه التعديلات كان الفرض بأن الارتفاع عن سطح الاليبسويد = الارتفاع عن متوسط سطح البحر عند النقطة الأساسية المسماة F1 أو نقطة الزهراء بجبل المقطم. هذا الفرض يعني أننا افترضنا أن سطح الييسويد هلمرت ١٩٠٦ ينطبق مع سطح الجيويد عند هذه النقطة (هذا غير حقيقي لكنه فرض أساسي لتسهيل بدء الحسابات الجيوديسية لشبكات الثوابت الأرضية المساحية). وبمعني آخر أننا قمنا برفع سطح الييسويد هلمرت ١٩٠٦ عدة أمتار لينطبق مع سطح الجيويد عند هذه النقطة المحددة ، وبالتالي لم يعد هلمرت ١٩٠٦ هو ذلك الاليبسويد العالمي الذي تم تحديد شكله و حجمه ووضعه ليكون أقرب ما يمكن لتمثيل شكل الأرض علي المستوي العالمي ، إنما صار له وضع جديد يناسب المنطقة الجغرافية لجمهورية مصر العربية فقط. هنا لا نقول أنه الييسويد أنما نطلق عليه اسم المرجع المصري.

كما يجب الإشارة في هذا السياق إلي وجود مراجع وطنية عديدة لدول مختلفة كلها تعتمد علي نفس الاليبسويد العالمي ، لكن كل مرجع منهم يعدل وضع هذا الاليبسويد بصورة مختلفة. كمثال فان المراجع الوطنية لكلا من السودان و تونس و المغرب و الجزائر و الإمارات و عمان تعتمد جميعها علي الييسويد Clarke 1880 لكن كل مرجع له وضع مختلف (أنظر عناصر التحويل بين المراجع لاحقا).

المراجع التي تحدثنا عنها حتى الآن هي ما يمكن أن نطلق عليها اسم المراجع الأفقية Horizontal Datum وهي الخاصة بتحديد المواقع في المستوي الأفقي. أما عند التعامل مع الإحداثيات في المستوي الرأسي (أي الارتفاعات) فأننا نحتاج إلي نوع آخر من المراجع هي المراجع الرأسية Vertical Datum. ويعد الجيويد هو المرجع الرأسي المعتمد في العديد من دول العالم ، أي لتحديد هذا المرجع نحتاج لتحديد النقطة التي يكون عندها متوسط سطح البحر يساوي صفر. وكمثال في مصر فقد تم إنشاء محطة قياس المد و الجزر Tide Gauge في ميناء الإسكندرية وتم تسجيل قياساتها لمدة ٨ سنوات من عام ١٨٩٨ إلي عام ١٩٠٦ وأخذ متوسطها بحيث أن هذه القراءة (علي المسطرة المدرجة داخل المحطة) اعتبرت هي المنسوب المساوي للصفر أي هي النقطة التي تحدد موقع الجيويد. و انطلاقا من هذه النقطة المرجعية تم استخدام أسلوب الميزانية Leveling لإنشاء مجموعة من النقاط – تسمي الروبيرات أو Bench Marks: BM- المعلومة المنسوب و التي تغطي معظم أرجاء مصر. لذلك نقول أن المرجع الوطني الرأسي المصري Vertical Egyptian Datum هو قيمة متوسط سطح البحر MSL عند الإسكندرية في عام ١٩٠٦.

١٣-٣ نظم الإحداثيات

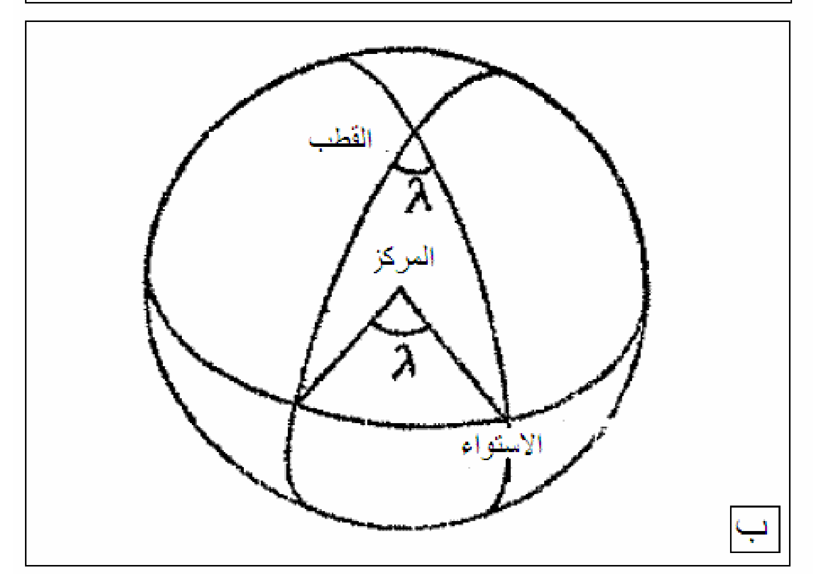
الإحداثيات Coordinates هي القيم التي بواسطتها نعبر عن موقع معين علي سطح الأرض أو علي الخريطة. وتتعدد أنظمة الإحداثيات تبعا لاختلاف السطح المرجعي الذي يتم تمثيل المواقع عليه. فعند اختيار المستوي كسطح مرجعي (مثل الخريطة) فأن الإحداثيات تكون إحداثيات مستوية أو مسقطة أو ثنائية الأبعاد Two-Dimensional (or 2D) Coordinates. ويرجع اسم ثنائية الأبعاد إلي أن كل نقطة – علي الخريطة مثلا – يلزمها

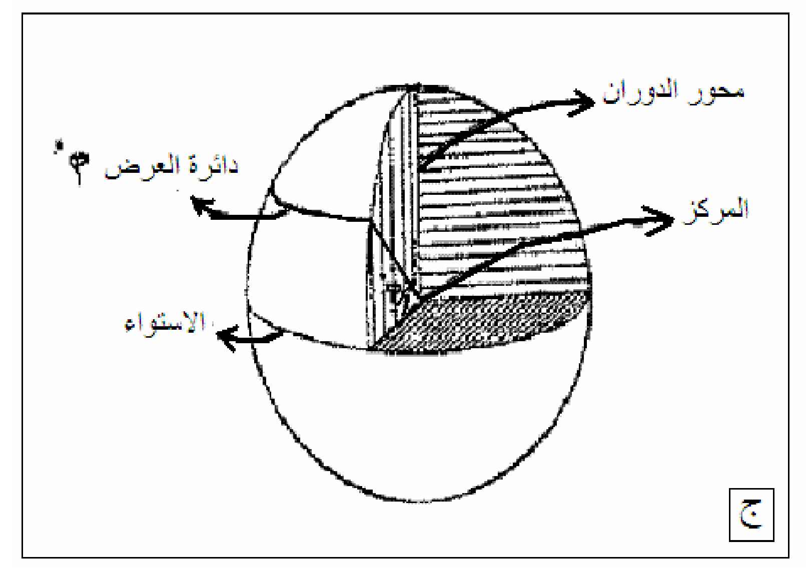
قيمتين لتحديد موقعها وليكن مثلا (س ، ص). بينما عند اعتماد الكرة أو الاليبسويد كسطح مرجعي فأننا نتعامل مع نوع الإحداثيات الفراغية أو الإحداثيات ثلاثية الأبعاد Three-Dimensional (or 3D) Coordinates حيث يجب إضافة ارتفاع النقطة عن سطح المرجع كبعد ثالث لتحديد موقعها الدقيق ، أي نحتاج لمعرفة القيم الثلاثة (س ، ص ، ع) لكل موقع. وفي حالة الكرة تسمي الإحداثيات باسم الإحداثيات الكروية Spherical Coordinates بينما في حالة الاليبسويد تسمي بالإحداثيات الجيوديسية Geodetic Coordinates أو الإحداثيات الجغرافية Geographic Coordinates أو الإحداثيات الاليبسويدية Ellipsoidal Coordinates. كما توجد إحداثيات أحادية البعد One-Dimensional (or 1D) Coordinates وهي غالبا التي تعبر فقط عن ارتفاع النقطة من سطح الشكل المرجعي المستخدم. وفي التطبيقات الجيوديسية و الجيوفيزيقية عالية الدقة توجد إحداثيات رباعية الأبعاد Four-Dimensional (or 4D) Coordinates حيث يتم تحديد موقع النقطة في زمن محدد بحيث تكون إحداثياتها هي (س ، ص ، ع ، ن) حيث البعد الرابع "ن" يعبر عن زمن قياس هذه الإحداثيات لهذا الموقع. وسنستعرض بعض أنظمة الإحداثيات بالتفصيل في الأجزاء التالية.

منذ قرون مضت أبتكر العلماء طريقة لتمثيل موقع أي نقطة علي سطح الأرض (باعتبار أن الأرض كرة) وذلك عن طريق:

- تم اتخاذ الخط الأساسي الأفقي هو تلك الدائرة العظمي (أي التي تمر بمركز الأرض) والتي تقع في منتصف المسافة بين القطبين وسميت بدائرة الاستواء.
- أتخذ الخط الأساسي الرأسي ليكون هو نصف الدائرة التي تصل بين القطبين الشمالي و الجنوبي وتمر ببلدة جرينتش بانجلترا (شكل ١٣-٥ أ).
- قسمت دائرة الاستواء إلي ٣٦٠ قسما متساويا و رسم علي سطح الأرض ٣٦٠ نصف دائرة (وهمية أو اصطلاحية) تصل بين القطبين وتمر بأحدي نقاط التقسيم علي دائرة الاستواء ، وكل نصف دائرة تسمي خط طول Longitude. ويتضح من ذلك أن الزاوية عند مركز الأرض بين نقطتي تقسيم متجاورتين تساوي ١ درجة (يرمز للدرجة بالرمز ١°) لان ٣٦٠ درجة تقابل ٣٦٠ قسما. وتم ترقيم خط طول جرينتش بالرقم صفر وخط الطول المجاور له من جهة الشرق ١° شرق ، ثم ٢° شرق ، .... إلي ١٨٠° شرق وبنفس الطريقة للخطوط الواقعة غرب جرينتش من ١° غرب ، إلي ١٨٠° غرب. وتكون زاوية خط الطول (شكل ١٣- ٥ ب) هي الزاوية الواقعة في مستوي دائرة الاستواء والمحصورة بين ضلعين يمر أحدهما بخط طول جرينتش بينما يمر الآخر بخط طول النقطة ذاتها.
- تم تقسيم خط الطول الأساسي (جرينتش) إلي ١٨٠ قسما متساويا ورسم علي الأرض دوائر صغري وهمية (الدائرة الصغرى هي التي لا تمر بمركز الأرض) توازي دائرة الاستواء وتمر كل دائرة منها بأحدي نقاط تقسيم خط طول جرينتش. وبذلك تكون الزاوية عند مركز الأرض بين نقطتين متجاورتين من نقاط التقسيم تساوي ١° لان ١٨٠ درجة تقابل ١٨٠ قسما ، وأطلق علي هذه الدوائر اسم دوائر العرض ومنهم ٩٠ دائرة شمال دائرة الاستواء و ٩٠ دائرة جنوبه. وبنفس الأسلوب تم ترقيم دائرة الاستواء بالرقم صفر ودائرة العرض المجاور لها من جهة الشمال ١° شمال ، ثم ٢° شمال ، .... إلي ٩٠° شمال وبنفس الطريقة للدوائر الواقعة جنوب دائرة الاستواء من ١° جنوب ، إلي ٩٠° جنوب. زاوية العرض Latitude هي الزاوية الواقعة في مستوي دائرة من دوائر الطول و رأسها عند مركز الدائرة و ضلعها الأساسي يمر في مستوي الاستواء و الضلع الآخر يمر في دائرة من دوائر العرض (شكل ١٣-٥ ج).

القطب الشمالي
محور دوران الارض
جرينتش
خط العرض الاساسي
خط الطول الاساسي
القطب الجنوبي
أ

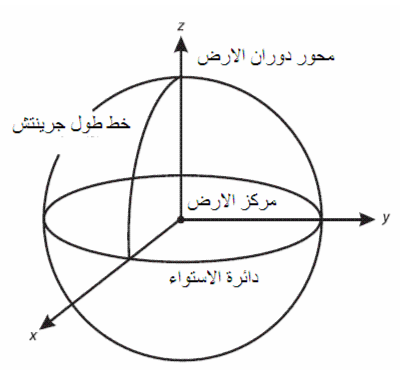




شكل (١٣-٥) تحديد المواقع علي الكرة

١٣-٣-١ الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية

نظام الإحداثيات الجيوديسية هو أحد نظم الإحداثيات الذي مركزه هو مركز الأرض ومحاوره مثبته مع الأرض أثناء دورانها ولذلك يطلق عليه نظام مركزي أرضي ثابت Earth-Centered Earth-Fixed أو اختصارا ECEF. مركز النظام يقع في مركز جاذبية الأرض، وينطبق محوره الرأسي z مع محور دوران الأرض ، يتجه محوره الأفقي الأول x ناحية خط طول جرينتش بينما محوره الأفقي الثاني y يكون عموديا علي محور x (شكل ١٣-٦).



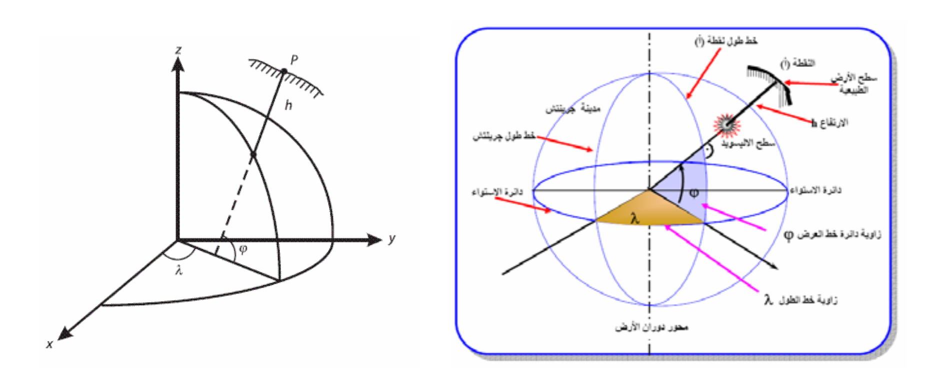
شكل (١٣-٦) نظام الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية

يتم تمثيل موقع أي نقطة في هذا النظام بثلاثة قيم أو ثلاثة إحداثيات ، أي أن هذا النظام ثلاثي الأبعاد 3D (شكل ١٣-٧):

خط الطول Longitude ويرمز له بالرمز اللاتيني λ (ينطق لامدا) ، وهو الزاوية المقاسة في مستوي دائرة الاستواء بين خط طول جرينتش (وهو خط الطول الذي أصطلح دوليا أن يكون رقم صفر) و خط طول النقطة المطلوبة.

دائرة العرض Latitude ويرمز له بالرمز اللاتيني ϕ (ينطق فاي) ، وهي الزاوية في المستوي الرأسي والتي يصنعها الاتجاه العمودي المار بالنقطة المطلوبة مع مستوي دائرة الاستواء (يلاحظ في الشكل أن الاتجاه العمودي علي سطح الاليبسويد لا يمر بمركز الاليبسويد عكس حالة الكرة حيث يمر العمودي علي سطح الكرة بمركزها).

الارتفاع عن سطح الاليبسويد ويرمز له بالرمز h ويسمي الارتفاع الجيوديسي أو الارتفاع الاليبسويدي Geodetic or Ellipsoidal Height

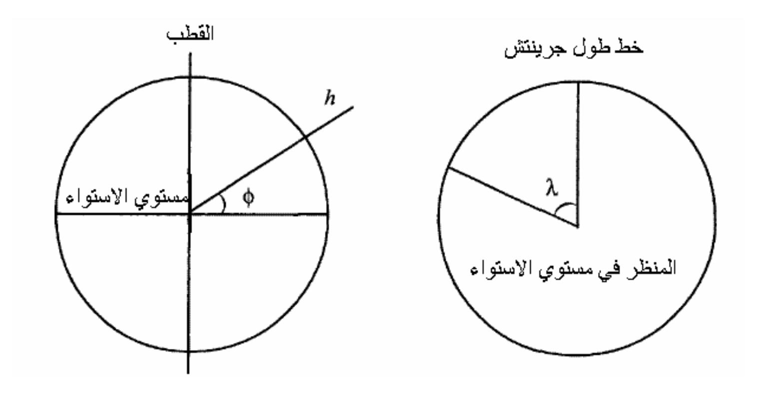


شكل (١٣-٧) الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية

وتوجد عدة نظم للوحدات المستخدمة في التعبير عن خطوط الطول و دوائر العرض أشهرها نظام الوحدات الستيني ، وفيه يتم تقسم الدائرة الكاملة إلي ٣٦٠ درجة (رمز الدرجة هو ^{o}) ثم تقسم الدرجة إلي ٦٠ جزء كلا منهم يسمي الدقيقة (رمز الدقيقة هو ') ثم لاحقا تقسم الدقيقة الواحدة إلي ٦٠ جزء يسمي الواحد منهم بالثانية (رمز الثانية هو "). كمثال: خط الطول 30^{o} 45' 52.3" يعني أن موقع هذه النقطة عند ٣٠ درجة و ٤٥ دقيقة و ٥٢.٣ ثانية. تكون خطوط الطول أما شرق خط طول جرينتش (يرمز لها بإضافة حرف ق أو E) أو غرب جرينتش (يرمز لها بإضافة حرف غ أو W). أما بالنسبة لدوائر العرض فتكون أما شمال دائرة الاستواء (يرمز لها بإضافة حرف ش أو N) أو جنوب خط الاستواء (يرمز لها بإضافة حرف ج أو S).

١٣-٣-٢ الإحداثيات الكروية

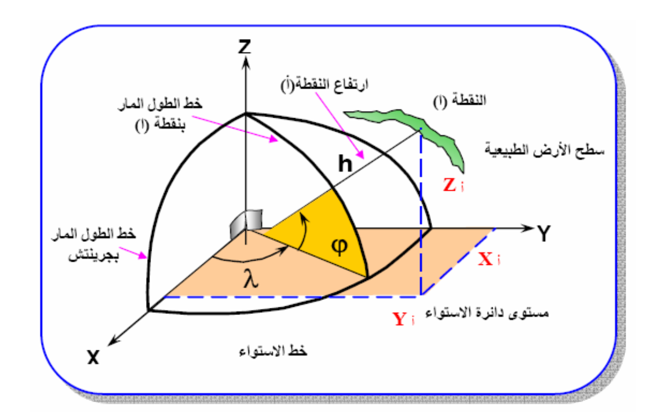
يشبه نظام الإحداثيات الكروية Spherical Coordinates نظام الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية ألا في اختلاف واحد فقط ألا وهو أن السطح المرجعي هنا هو الكرة و ليس الاليبسويد (شكل ١٣-٨). يلاحظ في الشكل (خاصة لقياس دائرة العرض ϕ) أن الاتجاه العمودي علي سطح الكرة يمر بمركزها عكس حالة الاليبسويد حيث لا يمر العمودي علي سطح الاليبسويد بمركزه.



شكل (١٣-٨) الإحداثيات الكروية

١٣-٣-٣ الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية أو الفراغية أو الديكارتية

هو نظام إحداثيات مشابه تماما في تعريفه لنظام الإحداثيات الجيوديسية ألا أنه يتميز أن إحداثياته الثلاثة تكون طولية (أي بالمتر أو الكيلومتر) و ليس منحنية (بالدرجات) مما يجعله أسهل في التعامل وخاصة في الحسابات ، وقد أبتكره العالم الفرنسي ديكارت في القرن السابع عشر. نقطة الأصل لنظام الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية Cartesian Geodetic Coordinates هي مركز الأرض ومحوره الأول X ينشأ من تقاطع مستوي خط الطول المار بجرينتش مع مستوي دائرة الاستواء ومحوره الثاني Y هو العمودي علي محور X بينما المحور الثالث (الرأسي) Z هو محور دوران الأرض و الذي يمر بمركز الأرض وكلا القطبين. ويعبر عن موقع كل نقطة بثلاثة إحداثيات: X, Y, Z (شكل ١٣-٩).



شكل (١٣-٩) الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية

١٣-٤ التحويل بين الإحداثيات الجغرافية

يمكن باستخدام مجموعة المعادلات التالية تحويل الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية (ϕ, λ, h) إلي الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية (X, Y, Z):

$$X = (c + h) \cos\phi \cos\lambda$$
$$Y = (c + h) \cos\phi \sin\lambda \qquad (13\text{-}2)$$
$$Z = [\, h + c\,(1 - e^2)\,] \sin\phi$$

حيث c يسمي نصف قطر التكور radius of curvature ، e تسمي المركزية الأولي first eccentricity ويتم حسابهما كالتالي:

$$c = \frac{a}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2\phi)}} \qquad (13\text{-}3)$$

$$e = [\sqrt{(a^2 - b^2)}\,] / a \qquad (13\text{-}4)$$

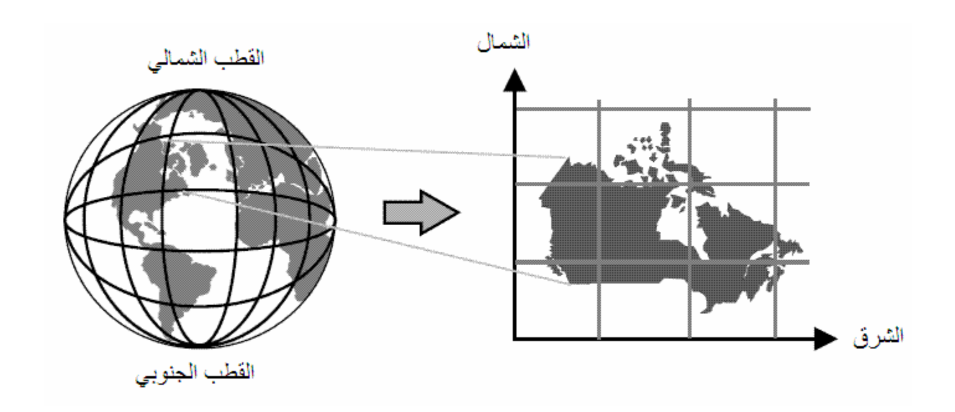
أما للتحويل من الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية (X, Y, Z) إلي الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية (ϕ, λ, h) فأحد الحلول يتمثل في المعادلات التالية:

$$\tan\lambda = Y / X$$
$$\tan\phi = \frac{Z \,/\, \sqrt{(X^2 + Y^2)}}{1 - e^2 \,(c / (c + h))} \qquad (13\text{-}5)$$
$$h = \frac{\sqrt{(X^2 + Y^2)}}{\cos\phi} - c$$

نلاحظ في هذه المعادلات أننا نحتاج لمعرفة قيمة c لكي نستطيع حساب قيمة ϕ و h ، لكن لنحسب قيمة c من المعادلة ١٣-٣ فأننا نحتاج لمعرفة قيمة ϕ ! ولذلك يتم حساب هذا النوع من التحويل بطريقة تكرارية Iterative ، حيث نبدأ باستخدام قيمة تقريبية لدائرة العرض ϕ ونحسب قيمة تقريبية لنصف قطر التكور c ثم نأخذ قيمة c هذه لنحسب منها قيمة جديدة ϕ وهكذا لعدد من المرات إلي أن نجد عدم وجود أي فرق جوهري Significant بين قيمتين متتاليتين لدائرة العرض ϕ.

١٣-٥ إسقاط الخرائط

إسقاط الخرائط Map Projection هو العملية الرياضية التي تمكننا من تحويل الإحداثيات علي مجسم الأرض - سواء كان الشكل المرجعي الذي يمثل الأرض هو الكرة أو الاليبسويد- (أي إحداثيات ثلاثية الأبعاد) إلي إحداثيات ممثلة علي سطح مستوي وهو الخريطة (أي إحداثيات ثنائية الأبعاد أو إحداثيات شبكية Grid Coordinates). أو بمعني آخر: هو العملية التي تمكننا من تحويل قيم خط الطول و دائرة العرض لموقع إلي الاحداثي الشرقي و الاحداثي الشمالي المطلوبين لتوقيع هذا الموقع علي الخريطة (شكل ١٣-١٠). ويسمي الشكل الناتج عن عملية الإسقاط بالمسقط.



شكل (١٣-١٠) عملية إسقاط الخرائط

ولا يمكن بأي حال من الأحوال أن تتم عملية تحويل الشكل المجسم للأرض إلي شكل مستوي (خريطة) بصورة تامة ولكن سيكون هناك ما نسميه " التشوه Distortion" في أي طريقة من طرق إسقاط الخرائط. تحاول الطرق المختلفة لإسقاط الخرائط أن تحافظ علي واحدة أو أكثر من الخصائص التالية بين الهدف الحقيقي علي الأرض و صورته علي الخريطة(مرة أخري لا يمكن تحقيق كل الخصائص مجتمعة):

- تطابق في المساحات
- تطابق في المسافات
- تطابق في الاتجاهات
- تطابق في الزوايا
- تطابق في الأشكال

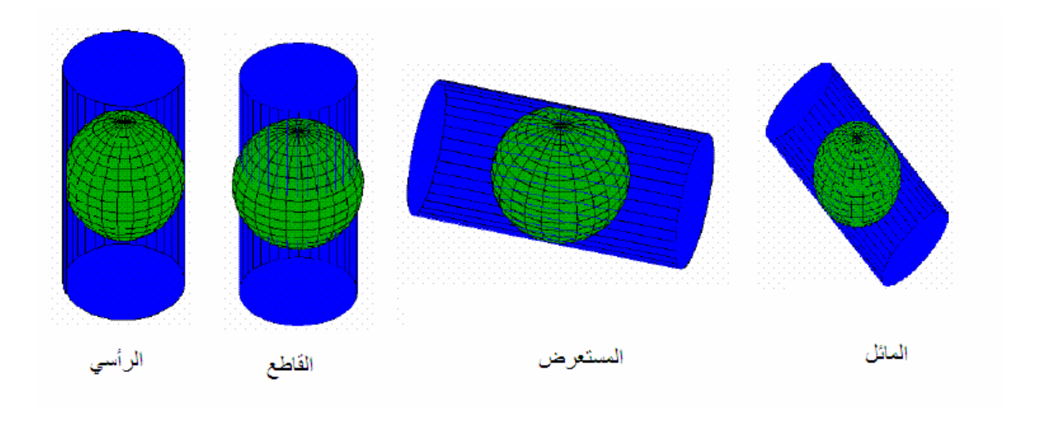
هناك بعض أنواع الإسقاط التي تحافظ علي المسافات وتسمي مساقط المسافات المتساوية Equidistance Projection وأنواع تحافظ علي الأشكال و الزوايا معا لكن في مساحات محدودة وتسمي مساقط التماثل Conformal Projection (وهي الأقرب للاستخدام في

التطبيقات المساحية) وأنواع ثالثة تحافظ علي المساحات وتسمي مساقط المساحات المتساوية Equal-Area Projection.

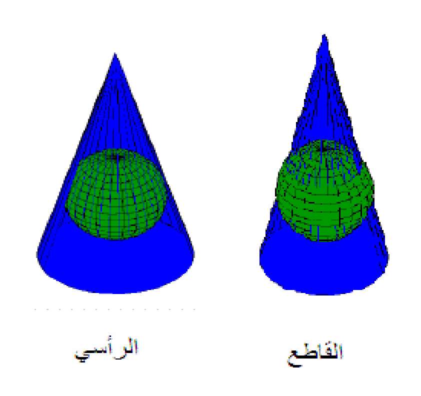
تنقسم مساقط الخرائط إلي ٤ مجموعات رئيسية:

أ- المساقط الاسطوانية Cylindrical Projections: تنشأ من إسقاط سطح الأرض علي اسطوانة والتي أما تمس الأرض رأسيا أو تقطعها أو تمس الأرض عرضيا أو بصورة مائلة (شكل ١٣-١١).
ب- المساقط المخروطية Conical; Projection: تنشأ من إسقاط سطح الأرض علي مخروط والذي أما يمس الأرض رأسيا أو يقطعها (شكل ١٣-١٢).
ت- المساقط السمتية أو المستوية أو الاتجاهية Azimuthal Projection: تنشأ من إسقاط سطح الأرض علي مستوي والذي أما يمس الأرض رأسيا عند نقطة محددة أو يقطعها في دائرة (شكل ١٣-١٣).
ث- مساقط أخري خاصة.

غالبا يلعب شكل المنطقة الجغرافية المطلوب إسقاطها دورا مهما في تحديد طريقة الإسقاط المناسبة ، فكمثال نختار طريقة إسقاط سمتيه إذا كانت شكل المنطقة شبه دائري و طريقة إسقاط اسطوانية للمناطق شبه المستطيلة و طريقة إسقاط مخروطية للمناطق شبه المثلثية.



شكل (١٣-١١) طرق الإسقاط الاسطواني



شكل (١٣-١٢) طرق الإسقاط المخروطي

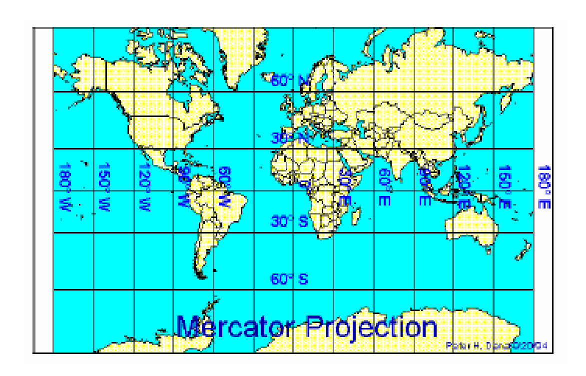
الرأسي القاطع

شكل (١٣-١٣) طرق الإسقاط السمتي أو المستوي

وفي الجزء التالي سنستعرض بعض نماذج مساقط الخرائط الشهيرة:

<u>مسقط ميريكاتور Mercator Projection:</u>

مسقط أسطواني يحقق شرط أن خطوط الطول و دوائر العرض تتقاطع في زوايا قائمة تماما. يكون المقياس scale صحيحا عند دائرة الاستواء أو عند دائرتي عرض قياسيتين Standard Parallels علي مسافات متساوية من الاستواء. غالبا يستخدم هذا المسقط في الخرائط البحرية (شكل ١٣-١٤).



شكل (١٣-١٤) مسقط ميريكاتور

<u>مسقط ميريكاتور المستعرض Transverse Mercator Projection:</u>

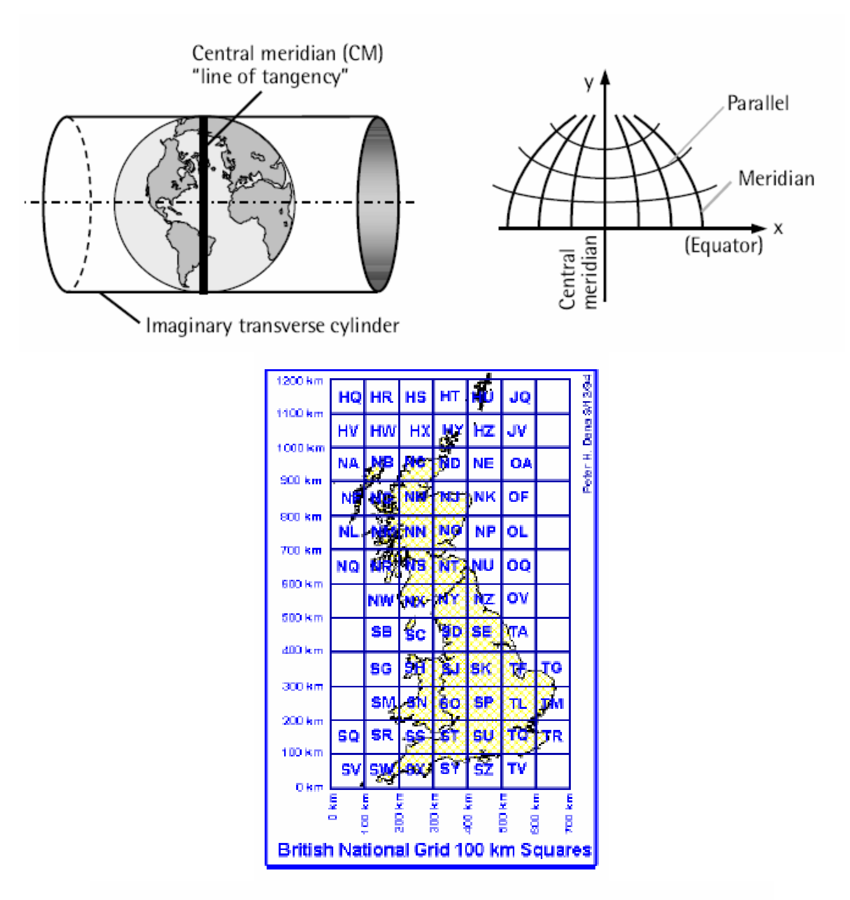
ينتج هذا المسقط من إسقاط الأرض علي اسطوانة تمسها عند خط طول مركزي Central Meridian. وغالبا يستخدم هذا المسقط للمناطق التي تمتد في اتجاه شمال-جنوب أكبر من امتدادها في اتجاه شرق-غرب. يزداد التشوه (في المقياس و المسافة و المساحة) كلما ابتعدنا عن خط الطول المركزي ، ولذلك نلجأ إلي فكرة الشرائح عند استخدام هذا المسقط حيث يكون عرض الشريحة الواحدة – في اتجاه الشرق – ثلاثة أو أربعة درجات من خطوط الطول بحيث لا يكون مقدار التشوه كبيرا عند أطراف الشريحة التي يقع خط طولها المركزي في منتصفها. مسقط ميريكاتور المستعرض مستخدم في خرائط الكثير من دول العالم مثل مصر و بريطانيا (شكل ١٣-١٥).

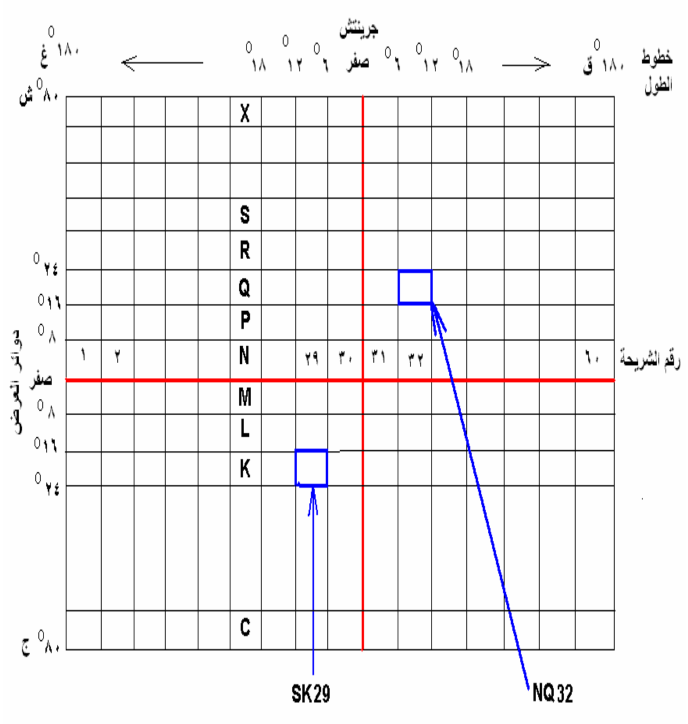
مسقط ميريكاتور المستعرض العالمي Universal Transverse Mercator Projection:

يعد أشهر أنواع مساقط الخرائط علي المستوي العالمي و يرمز له اختصارا بأحرف UTM. يعتمد مسقط UTM علي إيجاد طريقة لرسم خرائط العالم كله وذلك عن طريق تقسيم الأرض إلي ٦٠ شريحة zones كلا منها يغطي ٦ درجات من خطوط الطول بحيث يكون لكل شريحة مسقط UTM له خط طول مركزي Central Meridian يقع في مركز هذه الشريحة. وتمتد شرائح مسقط UTM من دائرة العرض ٨٠ جنوبا إلي دائرة العرض ٨٤ شمالا. ترقم الشرائح من رقم ١ إلي رقم ٦٠ بدءا من خط الطول ١٨٠° غرب ، بحيث تمتد الشريحة الأولي من ١٨٠° غرب إلي ١٧٤° غرب ويكون خط طولها المركزي meridian central عند ١٧٧° غرب. وتقسم كل شريحة طولية إلي مربعات كل ٨ درجات من دوائر العرض ، بحيث يكون هناك حرف خاص – كاسم - لكل مربع من هذه المربعات ، وتبدأ الحروف من حرف C جنوبا إلي حرف X شمالا مع استبعاد حرفي I و O (شكل ١٣-١٦). ويكون معامل المقياس scale factor مساويا ٠.٩٩٩٦ عند خط الطول المركزي ، بحيث مع ازدياد التشوه كلما بعدنا عن خط الطول المركزي فأن أقصي قيمة لمعامل القياس عند أطراف الشريحة ستكون ١.٠٠٠٩٧ عند خط الاستواء أو ١.٠٠٠٢٩ عند دائرة عرض ٤٥° ش.

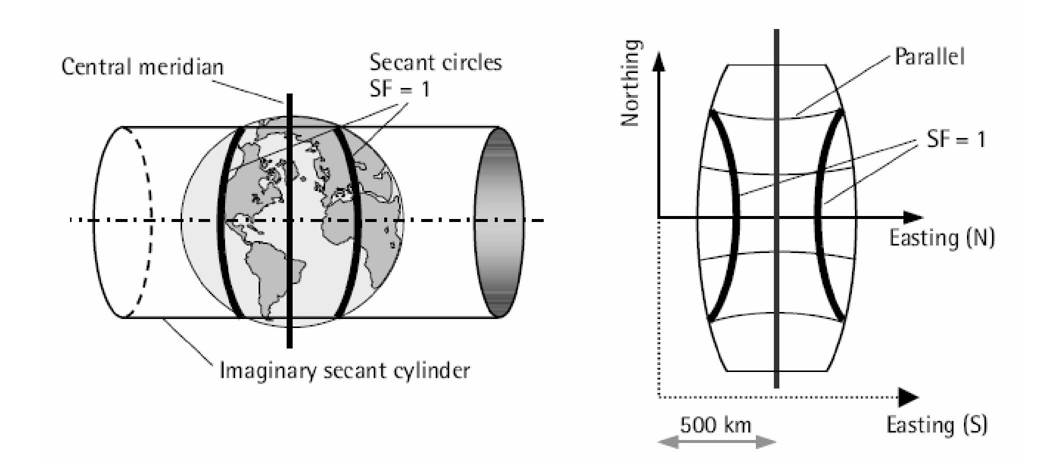
مسقطساينسويدال متساوي المساحات Sinusoidal Equal-Area Projection :

في هذا المسقط الذي يحافظ علي المساحات تتعامد دوائر العرض علي خط الطول المركزي فقط ، بينما مع باقي خطوط الطول فأن دوائر العرض تكون مقوسة بما يشبه منحني جيب الزاوية sin curves (من هنا جاء اسم هذا المسقط: المسقط الجيبي). ويكون مقياس الرسم صحيحا فقط عند خط الطول المركزي و دوائر العرض ، ويستخدم هذا المسقط (شكل ١٣-١٧) للمناطق التي تمتد في أنجاه شمال-جنوب.

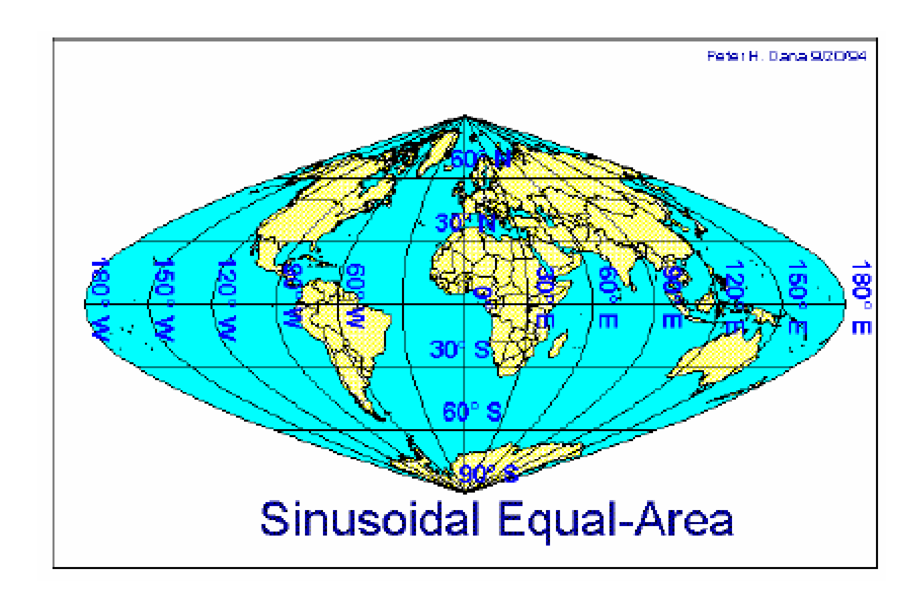




شكل (١٣-١٥) مسقط ميريكاتور المستعرض



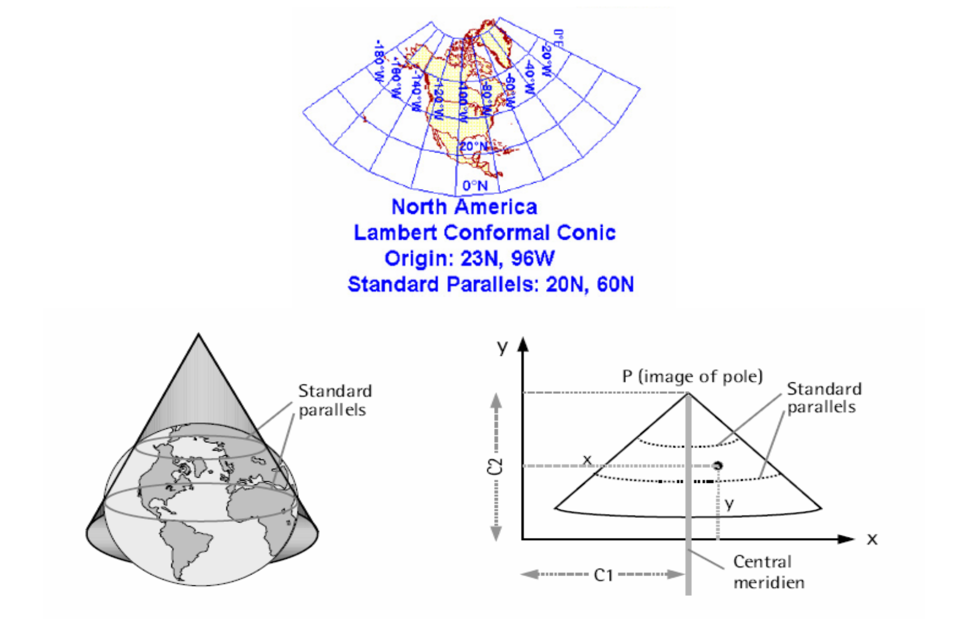
شكل (١٣-١٦) شرائح مسقط ميريكاتور المستعرض العالمي



شكل (١٣-١٧) مسقط ساينسويدال متساوي المساحات

مسقط لامبرت المخروطي المتماثل Lambert Conformal Conic Projection:

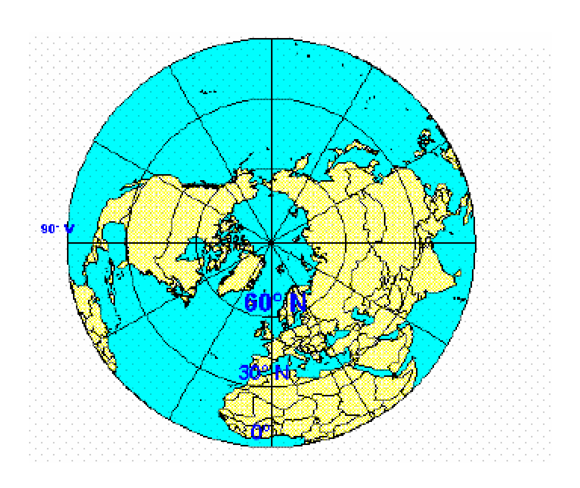
يستخدم هذا المسقط المخروط (وليس الاسطوانة مثل المساقط السابقة) وفيه تكون المساحات و الأشكال متماثلة عند دائرتي العرض القياسيتين Standard Parallels ويزداد التشوه كلما ابتعدنا عنهما ، كما تكون الاتجاهات صحيحة في مناطق محدودة. وهذا المسقط مستخدم في أمريكا الشمالية (شكل ١٣-١٨).



شكل (١٣-١٨) مسقط لامبرت المخروطي المتماثل

مسقط لامبرت السمتي متساوي المساحات Lambert Azimuthal Equal-Area Projection:

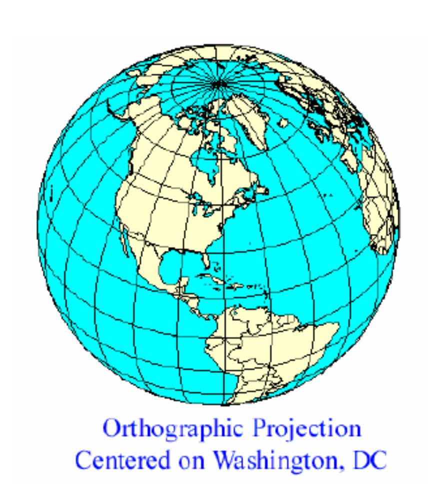
يستخدم هذا المسقط المستوي (وليس الاسطوانة أو المخروط) غالبا لرسم مناطق واسعة من المحيطات. وفيه يكون خط الطول المركزي خطا مستقيما بينما تكون باقي خطوط الطول منحنية (شكل ١٣-١٩).



شكل (١٣-١٩) مسقط لامبرت السمتي متساوي المساحات

المسقط الارثوجرافي أو المتعامد Orthographic Projection:

مسقط سمتي أيضا (أي يستخدم المستوي في الإسقاط) يستخدم غالبا لإظهار صورة عامة أو منظور لنصف الكرة الأرضية (شكل ١٣-٢٠). وبه يوجد تشوه لكلا من المساحات و الأشكال وتكون المسافات صحيحة علي دائرة الاستواء ودوائر العرض الأخرى.



شكل (١٣-٢٠) المسقط المتعامد أو الارثوجرافي

١٣-٦ نظم الإحداثيات المسقطة أو المستوية

الإحداثيات المسقطة Projected Coordinates هي الإحداثيات المستوية ثنائية الأبعاد 2D الناشئة عن تطبيق احدي طرق إسقاط الخرائط ، أي هي إحداثيات أي نقطة علي الخريطة وليس علي سطح الأرض. وغالبا يرمز لها بالاحداثي الشرقي Easting أو اختصارا E و الاحداثي الشمالي Northing أو اختصارا N (البعض يقع في غلطة و يستخدم الرمزين x, y الذين أصبح استخدامهما متعارفا عليه بصورة شائعة للدلالة علي الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية X, Y, Z). وحيث أن طرق إسقاط الخرائط متعددة بصورة كبيرة جدا فسنستعرض هنا مثاليين فقط لنظم إحداثيات مسقطة للتعرف علي كيفية التعامل مع هذه النظم و العناصر المطلوب معرفتها في كل نظام منهما. والمثاليين هما نظام الإحداثيات المصرية كأحد نظم الإحداثيات الوطنية لدولة عربية ، ونظام UTM العالمي المستخدم أيضا في بعض البلاد العربية مثل المملكة العربية السعودية.

١٣-٦-١ نظم الإحداثيات المصرية

(أ) نظام الإحداثيات المصرية ETM

نظام إحداثيات الخرائط المصرية Egyptian Transverse Mercator أو اختصارا ETM هو نظام إسقاط ميريكاتور مستعرض. وحتى يمكن تقليل التشوه في الخرائط فقد تم تقسيم جمهورية مصر العربية إلي أربعة مناطق أو شرائح Zones وتسمي عاده باسم أحزمة Belts (٣ أحزمة). في هذا النظام تم اعتماد المرجع الجيوديسي Geodetic Datum المستخدم في خرائط الهيئة المصرية العامة للمساحة هو الييسويد هلمرت ١٩٠٦ Helmert 1906 (شكل ١٣-٢١).

توجد عدة عناصر يجب تعريفها لكل شريحة من شرائح مسقط ميريكاتور المستعرض ، وهذه العناصر تختلف قيمها من دولة لأخرى حتى لو استخدمت الدولتان نفس المسقط. هذه العناصر الخمسة (تسمي معاملات الإسقاط Projection Parameters) تشمل:

- موقع نقطة الأصل للإسقاط Origin والذي يحدد من خلال قيمتين: خط الطول المركزي Central Meridian ودائرة العرض القياسية Standard Parallel.
- لتفادي وجود إحداثيات سالبة (غير مستحبة في الخرائط) فيتم إعطاء قيم إحداثيات مفترضة أو زائفة لنقطة الأصل بدلا من إعطائها الإحداثيات صفر شرقا و صفر شمالا، وذلك عن طريق تحديد عنصرين آخرين هما: الاحداثي الشرقي الزائف False Easting والاحداثي الشمالي الزائف False Northing.
- العنصر الخامس - من معاملات الإسقاط - المطلوب تحديده هو قيمة معامل مقياس الرسم عند خط الطول المركزي.

إن معادلات حساب الإحداثيات المسقطة ذاتها (أي معادلات تحويل الإحداثيات الجغرافية أو الجيوديسية إلي إحداثيات الخريطة) معروفة للجميع وأصبحت مبرمجه داخل كل برامج الحاسب الآلي software الخاصة بتطبيقات المساحة و الخرائط و نظم المعلومات الجغرافية. إلا أن المهم في حالة استخدام أي برنامج هو تحديد معاملات الإسقاط الخمسة المطلوبة لهذا النوع من الإسقاط ، فربما نجد بعض البرامج لا تحتوي داخل قواعد بياناتها إسقاط خاص بدولة معينة لكنها تسمح بإنشاء مسقط جديد داخل البرنامج إذا حددنا قيم عناصره الخمسة. بمعني آخر: من الممكن أن نجد برنامج كمبيوتر لا يحتوي علي نظام الإسقاط المصري لكنه يسمح بإنشاء مسقط من نوع ميريكاتور المستعرض إذا قمنا بتحديد قيم العناصر الخمسة المستخدمة في الخرائط المصرية. وتجدر الإشارة إلي أن عناصر الإسقاط لأي دولة لا يمكن استنباطها أو محاولة حسابها لان هذه العناصر افتراضية ومن اختيار الجهة المسئولة عن الخرائط في هذه الدولة ، لأن وللأسف الشديد ما زالت بعض الدول العربية تعتبر قيم عناصر الإسقاط لها من الأسرار التي لا يجوز نشرها!

تجدر الإشارة إلي أنه في بعض برامج الكمبيوتر software يسمي هذا النظام Old Egyptian Datum 1907 أو اختصارا باسم OED 1907. يتميز هذا النظام بقيم عناصر الإسقاط تخص مصر. وتتغير قيم هذه العناصر مع كل حزام (منطقة) من الخرائط المصرية كالآتي:

١- الحزام الأحمر Red Belt:

يغطي هذا الحزام المنطقة الوسطي من مصر وذلك من خط طول ٢٩ شرقا إلي خط طول ٣٣ شرقا. وتكون قيم عناصر نظام ETM في هذا الحزام هي:

الاحداثي الشرقي المفترض	False Easting = 615 000 m
الاحداثي الشمالي المفترض	False Northing = 810 000 m
دائرة العرض	Latitude = 30^{o} 0' 0"
خط الطول	Longitude = 31^{o} 0' 0"
معامل مقياس الرسم	Scale on central Meridian = 1.00
عرض المنطقة	Zone width = 4^{o} 0' 0"

٢- الحزام الأزرق Blue Belt:

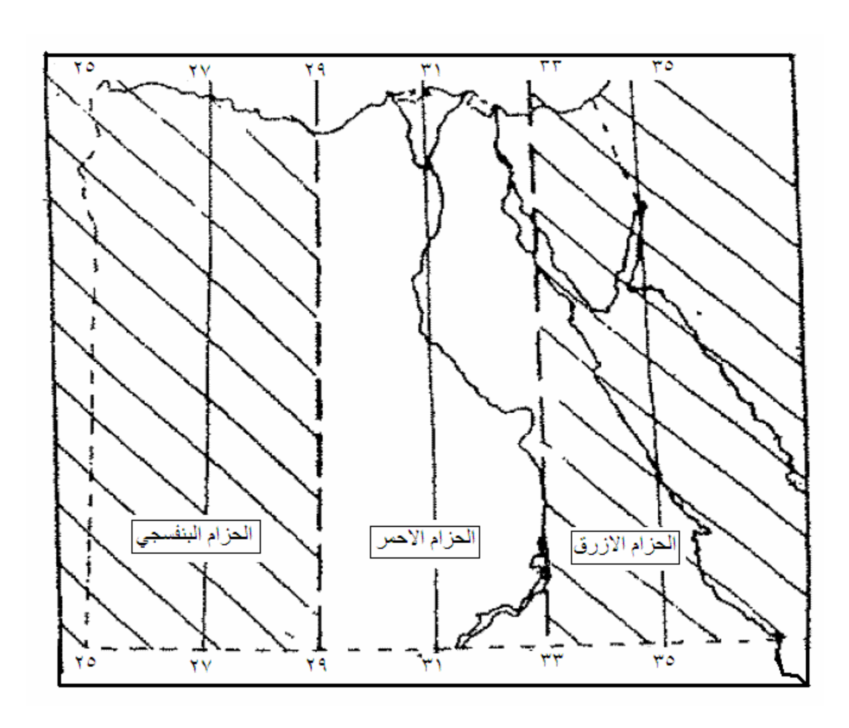
يغطي هذا الحزام المنطقة الشرقية من مصر وذلك من خط طول ٣٣ شرقا إلي خط طول ٣٧ شرقا. وتكون قيم عناصر نظام ETM في هذا الحزام هي:

الاحداثي الشرقي المفترض	False Easting = 300 000 m
الاحداثي الشمالي المفترض	False Northing = 110 000 m
دائرة العرض	Latitude = 30^{o} 0' 0"
خط الطول	Longitude = 35^{o} 0' 0"
معامل مقياس الرسم	Scale on central Meridian = 1.00
عرض المنطقة	Zone width = 4^{o} 0' 0"

٣- الحزام البنفسجي Purple Belt:

يغطي هذا الحزام المنطقة الغربية في مصر وذلك من خط طول ٢٥ شرقا إلي خط طول ٢٩ شرقا. وتكون قيم عناصر نظام ETM في هذا الحزام هي:

الاحداثي الشرقي المفترض	False Easting = 700 000 m
الاحداثي الشمالي المفترض	False Northing = 200 000 m
دائرة العرض	Latitude = 30^{o} 0' 0"
خط الطول	Longitude = 27^{o} 0' 0"
معامل مقياس الرسم	Scale on central Meridian = 1.00
عرض المنطقة	Zone width = 4^{o} 0' 0"



شكل (١٣-٢١) شرائح نظام الإسقاط المصري ETM

تجدر الإشارة إلي وجود شريحة رابعة ثانوية تسمي امتداد الحزام الأحمر Extended Red Belt تغطي المنطقة جنوب مدينة أسوان. أتضح أن قيمة الاحداثي الشمالي المفترض (٨١٠ كيلومتر) لشريحة الحزام الأحمر سيتسبب في وجود إحداثيات شمالية سالبة في هذه المنطقة الجنوبية من الأراضي المصرية (أعتقد أنه لم يكن متخيلا منذ مائة عام أن تتم أي مشروعات مساحية أو إنتاج خرائط لهذه المنطقة أقصي جنوب مصر ولذلك تم اختيار قيمة ٨١٠ كيلومتر و هي تقريبا المسافة من القاهرة إلي أسوان!). وفي هذه الشريحة الرابعة يتم تغيير قيمة الاحداثي الشمالي المفترض من ٨١٠،٠٠٠ متر إلي ١,٠٠٠،٠٠٠ متر.

(ب) نظام الإحداثيات المصرية المطورة MTM

نظرا لانتشار استخدام تقنية GPS في الأعمال المساحية في مصر فقد أعلنت الهيئة المصرية العامة للمساحة منذ عدة أعوام عن تطوير نظام جديد للإحداثيات المستخدمة في الخرائط المصرية وعرف هذا النظام باسم: نظام ميريكاتور المستعرض المعدل Modified Transverse Macerator أو اختصارا باسم MTM (نفس النظام مطبق في بعض أجزاء من كندا أيضا). لم يتم التحول لهذا النظام بصورة رسمية بعد ، إلا أن خرائط بعض المشروعات الجديدة قد تم تطويرها اعتمادا عليه. وسيعتمد نظام MTM علي المرجع الجيوديسي أو البيسويد WGS84 وليس البيسويد هلمرت ١٩٠٦ كالنظام السابق.

مثل النظام السابق سيكون نظام MTM مستخدما لنوع إسقاط الخرائط من نوع ميريكاتور المستعرض ، لكن سيتم تقسيم مصر إلي ٥ شرائح (وليس ٣ فقط في النظام السابق) لتقليل قيمة التشوه إلي أقل ما يمكن للوصول لدقة عالية للخرائط.

توجد عدة عناصر مشتركة بين الشرائح الخمسة كالآتي:

الاحداثي الشرقي المفترض	False Easting = 300 000 m
الاحداثي الشمالي المفترض	False Northing = 0 m
دائرة العرض	Latitude = 0° 0' 0"
معامل مقياس الرسم	Scale on central Meridian = 0.9999
عرض المنطقة	Zone width = 3° 0' 0"

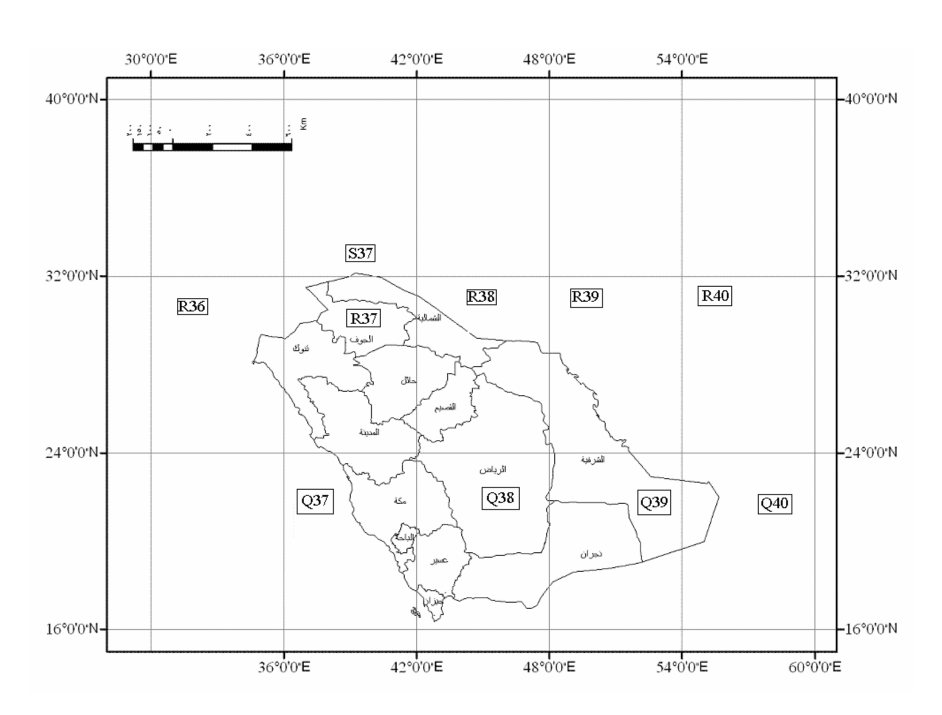
والقيمة الوحيدة التي تتغير من شريحة لآخري هي خط الطول كالآتي:

الشريحة رقم ١	Longitude = 25° 30' 0"
الشريحة رقم ٢	Longitude = 28° 30' 0"
الشريحة رقم ٣	Longitude = 31° 30' 0"
الشريحة رقم ٤	Longitude = 34° 30' 0"
الشريحة رقم ٥	Longitude = 37° 30' 0"

١٣-٦-٢ نظم إحداثيات UTM

إضافة لما سبق ذكره في الأجزاء السابقة عن خصائص مسقط UTM فنضيف أيضا أنه لعدم وجود أي إحداثيات سالبة (الوضع غير المستحب في المساحة و الخرائط) فقد تم الأخذ بمبدأ المركز الزائف أو المفترض False Origin. في كل شريحة من شرائح مسقط UTM تقاس الإحداثيات الشرقية من خط الطول المركزي والذي يعطي له إحداثيات شرقية زائفة تساوي ٥٠٠ كيلومتر ، بينما تقاس الإحداثيات الشمالية مباشرة من دائرة الاستواء. وهذا الوضع يجعل من المهم جدا في أي خريطة UTM أن نعرف رقم الشريحة التي تعتمد عليها إحداثيات هذه الخريطة (حيث أن قيم الإحداثيات الشرقية ستتكرر من خريطة لآخري تقع معها علي نفس الامتداد من خطوط الطول).

تعد المملكة العربية السعودية من الدول التي تعتمد في خرائطها علي نظام UTM ، وقد اعتمدت الاليبسويد العالمي لعام ١٩٢٤ International Ellipsoid 1924 (حيث نصف المحور الأكبر = ٦٣٧٨٣٨٨ متر و التفلطح 1/f = ٢٩٧) كسطح مرجعي في مرجعها الجيوديسي الوطني المسمي عين العبد ١٩٧٠. وفي معظم برامج الكمبيوتر فمن الممكن الاكتفاء بتحديد رقم الشريحة (لمنطقة معينة) ويقوم البرنامج باستخدام معاملات و معادلات تحويل مسقط UTM المناسبة لهذه المنطقة ليتم تحويل الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية إلي الإحداثيات المسقطة أو المستوية ، ويقدم شكل (١٣-٢٢) أرقام الشرائح التي تغطي المناطق الإدارية للمملكة.

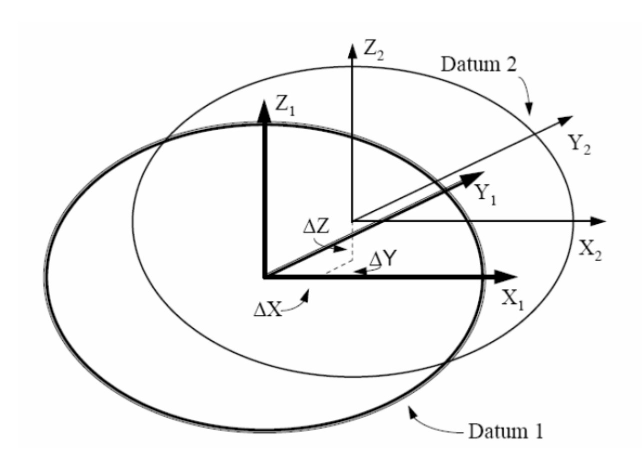


شكل (١٣-٢٢) شرائح مسقط UTM للمملكة العربية السعودية

١٣-٧ التحويل بين المراجع الجيوديسية

إن تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية المختلفة أصبح حلقة مهمة من حلقات العمل الجيوديسي في الآونة الأخيرة. فمع ازدياد التعاون التنموي و المشروعات المشتركة بين الدول المتجاورة ومع اختلاف المرجع الجيوديسي المستخدم في خرائط و قاعدة البيانات الجيوديسية لكل دولة ، أصبح لزاما توحيد الإحداثيات و الخرائط في مناطق الحدود ليمكن تنفيذ هذه المشروعات المدنية (مثل مد خطوط الكهرباء أو أنابيب نقل البترول أو إقامة الطرق). أيضا ومع انتشار تطبيقات التقنيات المساحية الحديثة (مثل الجي بي أس) ازدادت أهمية عملية التحويل بين المراجع. فكمثال: تعطي تقنية الجي بي أس إحداثيات النقاط المرصودة علي المجسم العالمي أو اليبسويد WGS84 فإذا أردنا توقيع هذه المواقع المرفوعة علي خرائط احدي الدول (التي تعتمد علي اليبسويد آخر أو مرجع جيوديسي محلي) فلا بد من تحويل هذه الإحداثيات من اليبسويد WGS84 إلي هذا الاليبسويد المحلي ، وإلا فأننا سنرتكب أخطاء قد تصل إلي مئات الأمتار عند توقيع هذه الإحداثيات دون تحويلها. إن عملية التحويل (أي تحويل الإحداثيات) بين المراجع Datum Shift ليست جديدة في العمل الجيوديسي لكنها قد تمت دراستها منذ قرنين أو أكثر ، وقد تم ابتكار العديد من الحلول الرياضية لتنفيذها. وفي العقدين الأخيرين ظهرت طرق رياضية جديدة ربما تكون أكثر دقة من الطرق التقليدية القديمة.

لنبدأ بمثال توضيحي بسيط في حالة التحويل بين نظامي إحداثيات مختلفين لكنهما متوازيين (شكل ١٣-٢٥). لاحظ أننا سنتعامل هنا مع نوع الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية (X,Y,Z) حيث أنها كإحداثيات طولية متعامدة ستكون أسهل من الإحداثيات الجغرافية (ϕ,λ,h) وحيث أن التحويل بين كلا نظامي الإحداثيات قد سبق تناوله في المعادلة (١٣-٢٣).



شكل (١٣-٢٣) التحويل بين مرجعين متوازيين

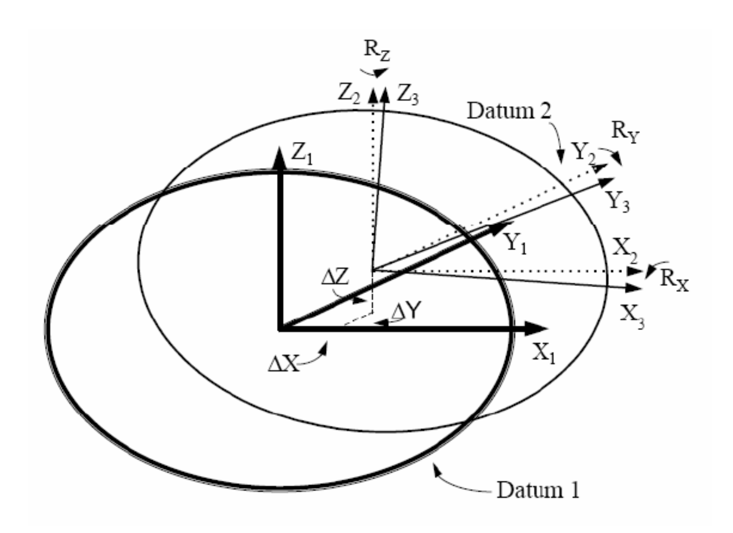
حيث أن محاور كلا نظامي الإحداثيات في كلا المرجعين متوازية فأن العلاقة بين المرجعين تتحدد بمعرفة موقع مركز المرجع الأول بالنسبة لموقع مركز المرجع الثاني ، أي تحديد فرق الإحداثيات بين موقع (أو إحداثيات) النقطة علي المرجع الأول وموقعها أو إحداثياتها علي المرجع الثاني. وهذا الفرق يتحدد من خلال ثلاثة مركبات $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ (ينطق الحرف اللاتيني Δ دلتا) والتي تسمي عناصر النقل Translation Parameters:

$$\Delta X = X2 - X1$$
$$\Delta Y = Y2 - Y1 \qquad (13\text{-}6)$$
$$\Delta Z = Z2 - Z1$$

فإذا علمنا إحداثيات نقطة واحدة علي المرجع الأول (X1,Y1,Z1) وإحداثياتها علي المرجع الثاني (X2,Y2,Z2) فيمكننا حساب فرق الإحداثيات باستخدام المعادلة السابقة. فإذا كان لدينا نقطة جديدة معلوم إحداثياتها علي المرجع الأول (X,Y,Z) فيمكن تحويلها إلي المرجع الثاني (X',Y',Z') بكل سهولة:

$$X' = X + \Delta X$$
$$Y' = Y + \Delta Y \qquad (13\text{-}7)$$
$$Z' = Z + \Delta Z$$

أي أن كل ما نحتاج إليه في هذه الحالة (الفرض بأن المرجعين متوازيي المحاور) هو معرفة إحداثيات نقطة واحدة علي الأقل في كلا النظامين. لكن الحالة العامة للعلاقة بين أي مرجعين أو اليبسويدين أن وضعهما لن يكون متوازي المحاور، بل أن محاور أحدهما ستكون مائلة علي محاور الآخر. كما أن حجم الاليبسويد الأول ليس بالضرورة أن يكون مساويا لحجم الاليبسويد الثاني. وبالتالي فبدلا من وجود ثلاثة عناصر فقط مطلوب تحديدهم ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) كما في الحالة البسيطة السابقة فسينتج لدينا ٤ عناصر أخري: ثلاثة لتحديد فروق الميل بين المحاور الثلاثة في كل مرجع وتسمي عناصر الدوران Rotation Parameters ، بالإضافة لعنصر يحدد فرق الحجم بين كلا المرجعين ويسمي معامل القياس scale factor (شكل ١٣-٢٤).



شكل (١٣-٢٤) التحويل بين أي مرجعين

وكما نري في هذا الشكل سنجد أن العناصر الجديدة المطلوبة هي:

- زاوية الدوران (أو الفرق) بين محوري X في كلا المرجعين ، ونرمز لها Rx
- زاوية الدوران (أو الفرق) بين محوري Y في كلا المرجعين ، ونرمز لها Ry
- زاوية الدوران (أو الفرق) بين محوري Z في كلا المرجعين ، ونرمز لها Rz
- بالإضافة للعنصر الرابع scale factor الذي يحدد فرق معامل القياس بين كلا المرجعين ونرمز له عادة بالرمز s.

أي أننا لتحديد العلاقة الفراغية (المكانية) بين أي مرجعين في الحالة العامة يلزمنا تحديد ٧ عناصر $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, Rx, Ry, Rz, s)$ وهي ما نطلق عليها اسم عناصر التحويل بين المراجع الجيوديسية Transformation Parameters. وفي هذه الحالة لا يمكننا الاعتماد علي توافر نقطة واحدة فقط معلومة (كما في الحالية البسيطة السابقة) لكن يلزمنا وجود ٣ نقاط – علي الأقل – معلوم إحداثياتهم في كلا المرجعين. فإذا كان لدينا معلومات لأكثر من ٣ نقاط زادت دقة الحل المطلوب لتحديد عناصر التحويل السبعة ، كما أن دقة تحديد العناصر تعتمد علي دقة إحداثيات النقاط المعلومة في كلا المرجعين. وهذين السببين وراء وجود أكثر من مجموعة منشورة و معلنة من عناصر التحويل بين مرجعين محددين ، فمعادلات التحويل ثابتة لكن عدد و جودة البيانات المستخدمة في الحساب ستؤدي لقيم متفاوتة لعناصر التحويل بين نفس المرجعين.
توجد عدة نماذج من المعادلات التي تسمح بالتحويل بين المراجع المختلفة و من أشهر هذه النماذج نموذج بورسا - وولف Bursa-Wolf ونموذج مولودينسكي - بادكس Molodenskii-Badekas. وتتمثل معادلات نموذج بورسا - وولف في:

$$\begin{vmatrix} X1 \\ Y1 \\ Z1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{vmatrix} + s \begin{vmatrix} 1 & Rz & -Ry \\ -Rz & 1 & Rx \\ Ry & -Rx & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X2 \\ Y2 \\ Z2 \end{vmatrix} \qquad (13\text{-}8)$$

حيث X1,Y1,Z1 تمثل إحداثيات النقطة في المرجع الأول ، X2,Y2,Z2 تمثل إحداثيات النقطة في المرجع الثاني ، $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ تمثل عناصر الانتقال بين المرجعين ، Rx, Ry, Rz تمثل زوايا الدوران أو عناصر الدوران بين المرجعين ، ويمثل s معامل القياس بينهما. كما يمكن أن تتم عملية تحويل المراجع باستخدام الإحداثيات الجغرافية ، والمعادلات التالية تقدم طريقة التحويل من أي مرجع محلي إلي مرجع WGS84 العالمي المستخدم في أرصاد تقنية الجي بي أس:

$$\begin{aligned} \phi_{84} &= \phi_L + \Delta\phi \\ \lambda_{84} &= \lambda_L + \Delta\lambda \\ h_{84} &= h_L + \Delta h \end{aligned} \qquad (13\text{-}9)$$

حيث $\phi_{84}, \lambda_{84}, h_{84}$ تمثل الإحداثيات علي مجسم WGS84 ، ϕ_L, λ_L, h_L تمثل الإحداثيات علي المجسم المحلي.

$$\Delta\phi'' = \{ -\Delta X \sin\phi \cos\lambda - \Delta Y \sin\phi \sin\lambda + \Delta Z \cos\phi + \Delta a\,(R_N e^2 \sin\phi \cos\lambda) / a + \Delta f\,[R_M (a/b) + R_N (b/a)] \sin\phi \cos\lambda \} / ([R_M + h] \sin 1'') \qquad (13\text{-}10)$$

$$\Delta\lambda'' = [-\Delta X \sin\lambda + \Delta Y \cos\lambda] / [(R_N + h] \cos\phi \sin 1''] \qquad (13\text{-}11)$$

$$\Delta h = \Delta X \cos\phi \cos\lambda + \Delta Y \cos\phi \sin\lambda + \Delta Z \sin\phi - \Delta a\,(a/R_N) + \Delta f\,(b/a) R_N \sin^2\phi \qquad (13\text{-}12)$$

حيث:

a, b هما قيم نصف المحور الأكبر و نصف المحور الأصغر للمرجع المحلي ، f تفلطح المرجع المحلي ،

$\Delta a, \Delta f$ هما الفرق بين نصف المحور الأكبر و التفلطح لمرجع WGS84 ناقص القيم المماثلة للمرجع المحلي ،

$$b/a = 1 - f \qquad (13\text{-}13)$$

$$e^2 = 2f - f^2 \qquad (13\text{-}14)$$

$$R_N = a / (1 - e^2 \sin^2 \phi)^{1/2} \qquad (13\text{-}15)$$

$$R_M = a(1- e^2) / (1 - e^2 \sin^2 \phi)^{3/2} \qquad (13\text{-}16)$$

توجد العديد من قيم عناصر التحويل المعلنة أو المنشورة وخاصة مع انتشار تطبيقات تقنية الجي بي أس التي تعتمد إحداثياتها علي المجسم العالمي WGS84. يقدم الجدول التالي قيم عناصر التحويل من بعض المراجع الوطنية في الدول العربية إلي مرجع WGS84 كمل نشرتها هيئة المساحة العسكرية الأمريكية:

عناصر التحويل بين المرجع الجيوديسي العالمي WGS84 والمراجع الجيوديسية المحلية (من هيئة المساحة العسكرية الأمريكية)

الدولة	المرجع الوطني	الاليبسويد	عدد النقاط المستخدمة	عناصر التحويل (بالمتر)		
				D X	D Y	D Z
السودان	Adindan	Clark 1880	٢٢	١٦٦- (٥)	١٥- (٥)	٢٠٤ (٣)
تونس	Carthage	Clark 1880	٥	٢٦٣- (٦)	٦ (٩)	٤٣١ (٨)
	European 1950	International 1924	٤	١١٢- (٢٥)	٧٧- (٢٥)	١٤٥- (٢٥)
المغرب	Merchich	Clark 1880	٩	٣١ (٥)	١٤٦ (٣)	٤٧ (٣)
الجزائر	North Sahara 1959	Clark 1880	٣	١٨٦- (٢٥)	٩٣- (٢٥)	٣١٠ (٢٥)
	Voirol 1960	Clark 1880	٢	١٢٣- (٢٥)	٢٠٦- (٢٥)	٢١٩ (٢٥)
مصر	Old Egyptian 1906	Helmert 1906	١٤	١٣٠- (٣)	١١٠ (٦)	١٣- (٨)
البحرين	Ain El Abd 1970	International 1924	٢	١٥٠- (٢٥)	٢٥٠- (٢٥)	١- (٢٥)
السعودية	Ain El Abd 1970	International 1924	٩	١٤٣- (١٠)	٢٣٦- (١٠)	٧ (١٠)
الإمارات	Nahrwan	Clark 1880	٢	٢٤٩- (٢٥)	١٥٦- (٢٥)	٣٨١ (٢٥)
عمان	Nahrwan	Clark 1880	٢	٢٤٧- (٢٥)	١٤٨- (٢٥)	٣٦٩ (٢٥)
	Oman	Clark 1880	٧	٣٤٦- (٣)	١- (٣)	٢٢٤ (٩)
قطر	Qatar National	International 1924	٣	١٢٨- (٢٠)	٢٨٣- (٢٠)	٢٢ (٢٠)
العراق والكويت و الأردن و ولبنان و سوريا	European 1950	International 1924	؟	١٠٣-	١٠٦-	١٤١-
تونس و الجزائر	Voirol 1874	Clark 1880	؟	٧٣-	٢٤٧-	٢٢٧

لكن يجب مراعاة الملاحظات التالية علي قيم هذا الجدول:

١. قيم العناصر المذكورة هي للتحويل من المرجع المحلي إلي مرجع WGS84 وللتحويل من WGS84 إلي المرجع المحلي يجب عكس جميع الإشارات الجبرية (موجب بدلا من سالب و العكس).
٢. القيم المذكورة لثلاثة عناصر فقط (وليس سبعة) وبالتالي فهي أقل دقة.
٣. الجدول يوضح أيضا عدد نقاط الثوابت المساحية التي تم استخدامها في حساب هذه العناصر لكل مرجع محلي.
٤. العدد المذكور بين القوسين هو مؤشر للدقة المتوقعة لقيمة كل عنصر من عناصر التحويل.
٥. القيم في آخر سطرين من الجدول تم حسابها بطرق أخري بخلاف رصد نقاط ثوابت مساحية وبالتالي فأن قيم الدقة المتوقعة غير متاحة.

منذ سنوات عديدة يقوم الباحثون الجيوديسيون في كل دولة بحساب قيم عناصر التحويل كلما توفرت لديهم بيانات نقاط جيوديسية معلوم إحداثياتها في كلا المرجعين (المحلي و WGS84). وتختلف دقة عناصر التحويل من دراسة لآخري طبقا لعدد النقاط المعلومة و توزيعها ودقة إحداثياتها المستخدمة في حساب عناصر التحويل ، وذلك بهدف الوصول لأدق قيم لهذه العناصر مما يسهل عملية تحويل إحداثيات الجي بي أس إلي المراجع الوطنية المستخدمة في إنتاج الخرائط لكل دولة. علي سبيل المثال توجد العديد من قيم عناصر التحويل المنشورة في جمهورية مصر العربية منهم العناصر التالية للتحويل من WGS84 إلي هلمرت ١٩٠٦ (من حسابات الدكتورة دلال النجار و الدكتور جمعة داود في عام ٢٠٠٠م):

ΔX = 123.842 ± 0.96 m
ΔY = -114.878 ± 0.96 m
ΔZ = 9.590 ± 0.96 m
Rx = -1.35314 ± 0.17 "
Ry = -1.67408 ± 0.35 "
Rz = 5.24269 ± 0.30 "
s = -5.466 ± 0.78 ppm (part per million)

كما توجد قيم أخري نشرت حديثا (للتحويل من هلمرت ١٩٠٦ إلي WGS84) وتتكون من (من حسابات الدكاترة أحمد شاكر و عبد الله سعد و مني سعد وعمرو حنفي في عام ٢٠٠٧م والمنشورة بمؤتمر FIG):

ΔX = -88.832 ± 0.02 m
ΔY = 186.714 ± 0.03 m
ΔZ = 151.82 ± 0.01 m
Rx = -1.305 ± 2.21 "
Ry = 11.216 ± 1.57 "
Rz = -6.413 ± 1.84 "
s = -6.413 ± 1.84 ppm (part per million)

أيضا توجد قيم منشورة لعناصر التحويل في السودان (للتحويل من اليبسويد Adindan إلي WGS84) باستخدام نموذج مولودينسكي وتتكون من (http://www.ses-sudan.org/english/SESpublications/ses_jour/47/1523GozouliSESformat2.pdf):

$\Delta X = -146.0 \pm 0.89$ m
$\Delta Y = -33.5 \pm 0.89$ m
$\Delta Z = 205{,}3 \pm 89$ m
$Rx = -1.64 \pm 1.87$ "
$Ry = 2.18 \pm 1.87$ "
$Rz = -14.8 \pm 2.6$ "
$s = -1.34 \pm 1.35$ ppm (part per million)

أما في المملكة العربية السعودية (وتحديدا مكة المكرمة) فأن عناصر التحويل من WGS1984 إلي مرجع عين العبد ١٩٧٠ - باستخدام نموذج مولودينسكي - فتتكون من (من حسابات الدكاترة جمعة داود و معراج مرزا و خالد الغامدي بمؤتمر FIG في عام ٢٠١١م) :

Xo = 4559545.892 m
Yo = 3808252.221 m
Zo = 2314350.329 m
$\Delta X = 41.650$ m
$\Delta Y = 286.321$ m
$\Delta Z = 89.132$ m
Rx = -1.91577 "
Ry = 10.28662 "
Rz = -14.08571 "
s = -7.1256 ppm (part per million)

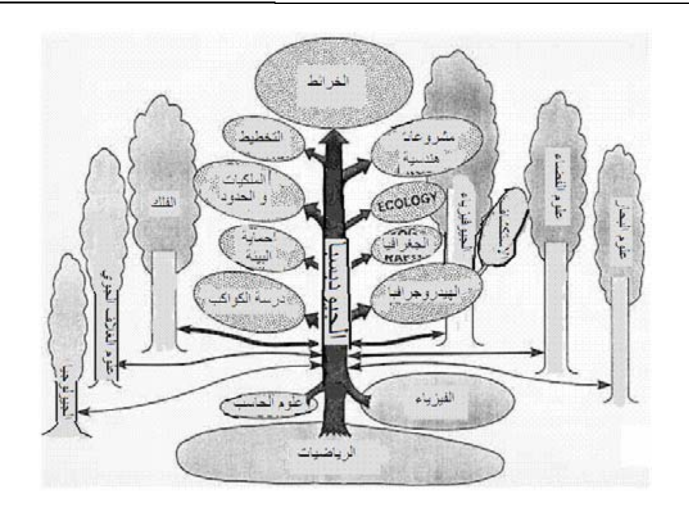
الفصل الرابع عشر

المساحة الجيوديسية

١٤-١ مقدمة تاريخية

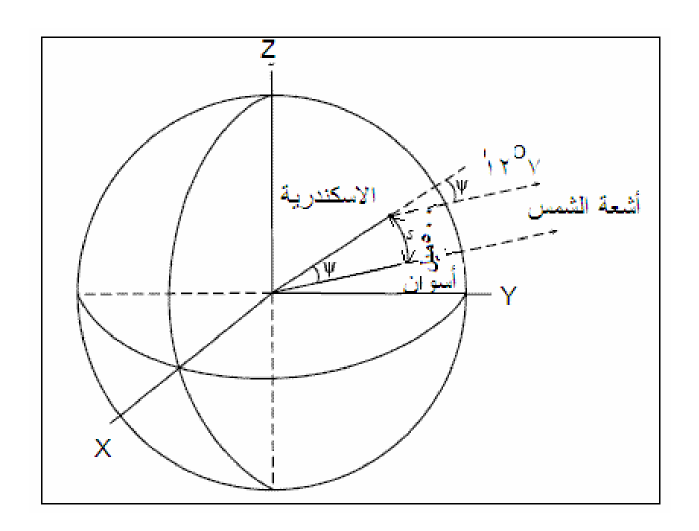
منذ أن خلق الله سبحانه و تعالي الإنسان وأنزله إلي الأرض كان التنقل من مكان إلي آخر والتعرف علي مواقع جديدة غريزة داخل النفس البشرية ، ومن هنا بدأت حاجة البشر لوسائل تمكنهم من السفر و الترحال بأمان دون أن يتيهوا في الصحراء و البيئة المحيطة. تمكن الإنسان في البداية أن يتخذ بعض الأماكن و الأجسام الأرضية الخاصة – مثل الجبال – كعلامات تمكنه من معرفة طريقه بالإضافة إلي مساعدة نهارية من الشمس و الظل ، وبالتالي أستطاع أن يسافر لعدة كيلومترات ويعود لموقعه الأصلي مرة أخري. ومن ذلك الوقت ظهر في القاموس البشري مصطلح جديد ألا و هو الملاحة Navigation وهي العملية التي بواسطتها يتنقل الإنسان بين موقعين والتي تساعده في معرفة موقعه في أي وقت. وفي المرحلة الثانية من المعرفة البشرية بدأ الاعتماد علي النجوم كعلامات مرجعية تمكن الإنسان من معرفة موقعه و اتجاهه أثناء السفر ليلا ، ومن ثم بدأ علم الفلك Astronomy . وعرفت الحضارات القديمة إقامة الفنارات Lighthouses منذ حوالي ألفي عام – و أشهرهم فنار الإسكندرية في مصر و فنار جزيرة رودس اليونانية - كعلامات ملاحية تعكس الضوء سواء ضوء الشمس نهارا أو ضوء مصدر آخر ليلا لإرشاد السفن المبحرة في البحار.

لاحقا بدأ الإنسان في تسجيل ملاحظاته الملاحية والطرق التي يسير فيها ومواقع تحركاته المتعددة في البيئة المحيطة به علي قطع من الورق (ورق البردي في الحضارة المصرية القديمة كمثال) لتظهر للوجود "الخرائط" Maps. وبالتزامن مع ظهور الخرائط بدأ ظهور علم المساحة Surveying وهو علم تحديد المواقع – بأبعاد ثلاثة – للمعالم الطبيعية و البشرية علي أو تحت سطح الأرض. وتعد مصر أول من استخدم علم المساحة بصورة موسعة منذ حوالي ١٤٠٠ عام قبل الميلاد وذلك في تحديد الملكيات الزراعية وحساب الضرائب المستحقة عليها. وفي المرحلة العلمية التالية تطور علم جديد ليكون أكثر تخصصا وتعمقا في عملية تحديد المواقع ألا و هو علم الجيوديسيا (أو الجيوديزيا) Geodesy والذي يعرفه هلمرت علي أنه: علم قياس و رسم سطح الأرض ، شاملا تعيين حقل الجاذبية الأرضية و أيضا تحديد أرضية المحيطات. إن كلمة جيوديسيا كلمة يونانية الأصل تتكون من مقطعين: جيو بمعني الأرض ، ديسيا بمعني القياس أي أن الكلمة تعني العلم المعني و المهتم بدراسة الأرض من حيث الشكل و القياس. ومن ثم أصبحت المساحة الجيوديسية Geodetic Surveying أحد مكونات علوم الهندسة المساحية والتي نحتاج إليها عندما نتعامل – قياسا أو رسما – مع مناطق كبيرة من سطح الأرض حيث لا يمكن إهمال تأثير كروية الأرض (مثلما الحال في فرع المساحة المستوية Plan Surveying عند قياس و رسم مساحات صغيرة من سطح الأرض و نفترض للتسهيل أن الأرض يمكن تمثيلها كسطح مستوي في هذه المنطقة الصغيرة). ويرتبط علم الجيوديسيا ارتباطا وثيقا بعدد كبير من العلوم الأخرى كما هو موضح في الشكل (١٤-١).



شكل (١٤-١) العلاقة بين علم الجيوديسيا والعلوم الأخرى

من أولي بدايات التفكير الإنساني في معرفة شكل و حجم الأرض تلك التجربة الرائدة التي قام بها العالم الإغريقي أراتوستين Eratosthenes (٢٧٦-١٩٦ ق.م) والذي كان يشغل منصب أمين مكتبة الإسكندرية التي كانت تعتبر أرقي معهد علمي في العالم في ذلك الوقت. لاحظ أراتوستين أن الشمس قي يوم ٢١ يونيو (حزيران) من كل عام تكون مرئية في مياه بئر بمدينة أسوان ، أي أنها تكون عمودية تماما في هذا الموقع ، وبعد ذلك أفترض أن الإسكندرية تقع إلي الشمال مباشرة من أسوان. ثم قام بقياس زاوية ميل أشعة الشمس عند الإسكندرية ووجدها ٧.٢ درجة ، وقدر أن هذا الجزء – بين الإسكندرية و أسوان – يعادل ١/٥٠ من الدائرة التي تمثل الأرض (شكل ١٤-٢). وبعد ذلك قام بقياس المسافة بين كلا المدينتين فكانت حوالي ٥٠٠٠ أستاديا (وحدة قياس المسافات في ذلك الوقت) أي ما يعادل ٥٠٠ ميل أو ٨٠٠ كيلومتر، ومن ثم تمكن هذا العالم من حساب محيط الأرض (٥٠ ضعف المسافة المقاسة بين أسوان و الإسكندرية) ليكون في تقديره حوالي ٢٥٠٠٠ ميلا. ومن المذهل أن نعرف أن هذه التجربة الجيوديسية في ذلك الزمن البعيد و باستخدام آلات بدائية لم تكن بعيدة إلا قليلا عن طول محيط الأرض الذي نعرفه اليوم وهو ٢٤٩٠١ ميلا.



شكل (١٤-٢) تجربة العالم أراتوستين لتقدير محيط الأرض

١٤-٢ أقسام المساحة الجيوديسية

يمكن تقسيم علم الجيوديسيا إلي أربعة أقسام رئيسية:

(أ) الجيوديسيا الهندسية Geometric Geodesy:

تختص بتحديد و حساب المواقع علي سطح الأرض و تحديد الخصائص الهندسية لشكل الأرض و إنشاء وتصميم وضبط شبكات الثوابت الأرضية. ربما يكون فرع الجيوديسيا الهندسية هو أكثر أقسام الجيوديسيا استخداما وشيوعا لدرجة تجعل البعض يظنه أنه هو علم الجيوديسيا ذاته.

(ب) الجيوديسيا الطبيعية أو الفيزيقية Physical Geodesy:

تختص بتحديد مجال الجاذبية الأرضية والخصائص الطبيعية لسطح الأرض وتحديد الجيويد كمرجع للقياسات الرأسية.

(ج) جيوديسيا الأقمار الصناعية Satellite Geodesy:

مع إطلاق الأقمار الصناعية بدأ هذا الفرع من فروع الجيوديسيا لتحديد المواقع ثلاثية الأبعاد 3D للمواقع والشبكات علي سطح الأرض وكذلك دراسة مجال الجاذبية الأرضية من أرصاد الأقمار الصناعية.

(د) الجيوديسيا الحركية أو الديناميكية Dynamic Geodesy:

يعد أحدث فروع الجيوديسيا و يتعامل مع الأرض علي أنها جسم متغير مع الزمن وليس جسما ثابتا في خصائصه سواء الهندسية أو الطبيعية، وفي هذا الفرع يتم متابعة و رصد التغيرات في المواقع علي سطح الأرض بمرور الزمن أي في صورة رباعية الأبعاد 4D حيث يكون الزمن هو البعد الرابع بالإضافة للأبعاد الثلاثة المعروفة (س، ص، ع) مثل تطبيقات رصد أو هبوط المنشئات الضخمة مثل السدود والخزانات.

تجدر الإشارة إلي أن الحدود أو الفواصل بين أفرع الجيوديسيا لم تعد حديثا حدودا واضحة المعالم أو محددة تحديدا دقيقا، فعلي سبيل المثال عند إنشاء شبكات الثوابت الأرضية باستخدام تقنية الجي بي أس فنحن نتعامل مع الجيوديسيا الهندسية والطبيعية و جيوديسيا الأقمار الصناعية في آن واحد.

يرتبط علم الجيوديسيا بالعديد من العلوم الأساسية الأخرى مثل الرياضيات و الفيزياء و الفلك وعلوم الأرض (الجيوفيزياء) والفضاء والحاسب الآلي.

١٤-٣ شبكات المثلثات Triangulation Networks

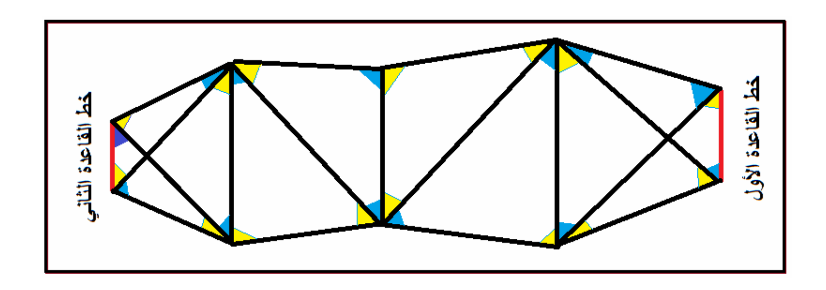
بدأت الدول في إنشاء شبكات من نقاط الثوابت الأرضية وتحديد إحداثيات كل نقطة منها لتكون مرجعا أساسيا لكل أعمال المساحة و الخرائط في كل دولة. وكانت الشبكات الجيوديسية تغطي كل أرجاء الدولة أو علي الأقل الجزء المعمور منها، ولذلك تتميز الشبكات الجيوديسية بالمسافات الكبيرة نسبيا بين كل نقطة و أخري. في بداية الأمر كانت الأجهزة المتاحة هي

الثيودليت و الميزان والشريط، وحتى يمكن قياس الزوايا بين أضلاع هذه الشبكات فكانت النقاط توضع علي رؤوس الجبال و المناطق المرتفعة حتى يمكن رؤية كل نقطة بوضوح من النقطة أو النقاط الأخرى. ومن ثم لم يكن من المعقول استخدام أجهزة الميزان لقياس فرق المنسوب بين هذه النقاط الجبلية العالية. وبناءا علي تلك القيود فقد كان هناك نوعين من الشبكات الجيوديسية في كل دولة: (١) شبكات المثلثات أو الشبكات ثنائية الأبعاد وفيها يتم تحديد الإحداثيات الأفقية (خط الطول و دائرة العرض) لكل نقطة منها، (٢) شبكات الروبيرات والتي يتم فيها تحديد الارتفاع الرإسي (المنسوب) لكل نقطة. تجدر الإشارة إلي أن تقنيات الأقمار الصناعية الآن – مثل الجي بي أس – قد مكنتنا من إنشاء شبكات جيوديسية ثلاثية الأبعاد حيث يمكن قياس الإحداثيات الثلاثة (خط الطول و دائرة العرض و الارتفاع) لكل نقطة في الشبكة.

تعتمد شبكات المثلثات Triangulation Networks علي إنشاء نقاط تكون فيما بينها مثلثات يمكن رصد زواياه الداخلية باستخدام الثيودليت. ولحساب إحداثيات هذه النقاط يلزم تحديد أطوال و انحرافات أضلاع المثلثات (كما في الترافرسات). وحيث أن قياس أطوال أضلاع تصل إلي عشرات الكيلومترات لم يكن متاحا قديما، فقد كان يتم إنشاء خط أساسي في بداية الشبكة (يسمي خط القاعدة Base Line) ويتم قياس طوله بكل دقة وكذلك يتم تحديد انحرافه من خلال الأرصاد الفلكية، ثم يستخدم هذا الخط مع قياسات زوايا المثلث في حساب انحرافات وأطوال أضلاع باقي أضلاع الشبكة. وفي نهاية الشبكة يتم إنشاء خط قاعدة آخر (ويتم قياس طوله و انحرافه أيضا) بحيث يكون تحقيقا للحسابات وإمكانية تحديد أخطاء الشبكة (سواء في الرصد أو الحسابات) حتى يمكن ضبط الشبكة وضمان دقة الإحداثيات المحسوبة لنقاطها.

مع اختراع أجهزة قياس المسافات الكترونيا EDM أمكن قياس أطوال أضلاع الشبكة مما أدي لتطوير نوع آخر من الشبكات الجيوديسية مقاسة الأضلاع فقط Trilateration Networks، وأيضا نوع ثالث يسمي الشبكات المزدوجة Hybrid Networks التي كان يقاس فيها الزوايا و أطوال الأضلاع معا. لكن دقة شبكات المثلثات كانت أعلي من دقة الشبكات المقاسة الأضلاع وان كانت الأخيرة أسهل و أسرع في العمل الحقلي.

أما حساب الإحداثيات المسقطة Projected Coordinates أو (س،ص) علي الخرائط فكان يبدأ من نقطة تسمي نقطة الأساس Laplace Station، وهي نقطة غالبا تكون أحد طرفي خط قاعدة وتقاس عندها إحداثياتها الفلكية (خط الطول ودائرة العرض) وكذلك انحراف خط القاعدة هذا. فعلي سبيل المثال فأن نقطة الأساس التي بنيت عليها شبكات المثلثات في جمهورية مصر العربية كانت هي نقطة الزهراء F1 والتي تقع فوق جبل المقطم بالقاهرة وكانت طرف من طرفي خط قاعدة سقارة.

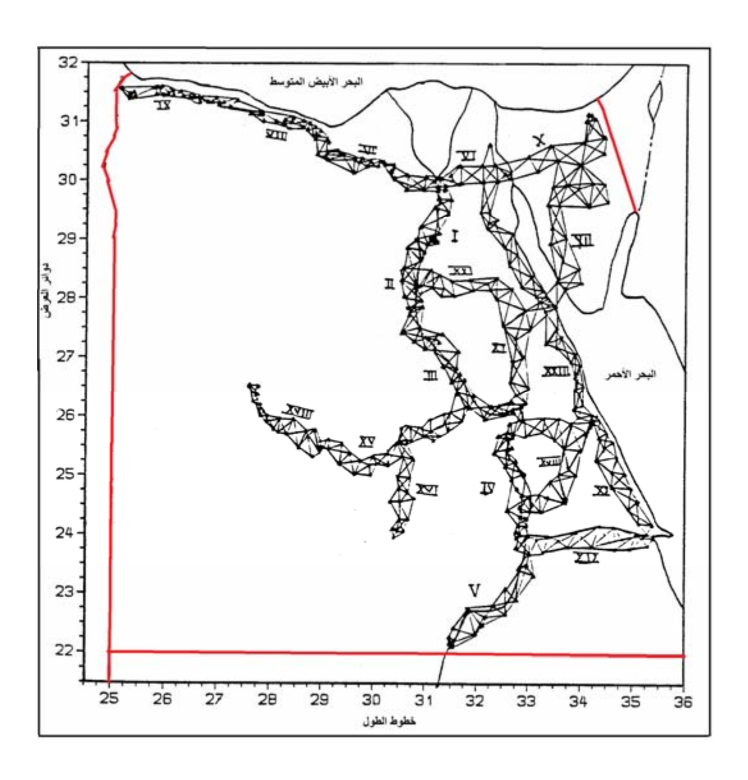


شكل (١٤-٣) مثال لشبكات المثلثات

١٤-٣-١ درجات شبكات المثلثات

تقسم شبكات المثلثات من حيث دقتها إلي أربعة درجات وهي:

(أ) شبكات مثلثات الدرجة الأولي:
تسمى أيضا المثلثات الجيوديسية لأنها أدق أنواع المثلثات وتتراوح أطوال أضلاعها بين ٤٠ و ٥٠ كيلومتر في مصر بينما يؤخذ طول خط القاعدة في حدود ١٠ كيلومتر٠ والمثلثات الجيوديسية هي التي تبنى عليها باقي درجات المثلثات الأخرى ولذلك يجب مراعاة أقصى درجات الدقة في إجراء قياسات وحسابات هذا النوع من شبكات المثلثات٠ ويكون متوسط الخطأ المسموح به في قفل المثلث ١" بينما الحد الأقصى لقفل المثلث لا يزيد عن ٣"٠ وبالنسبة لقياس طول خط القاعدة فان الخطأ النسبي المسموح به لا يزيد عن ١: ١,٠٠٠,٠٠٠ ويتم رصد الزوايا بعدد ١٢ قوس باستخدام ثيودليت دقة ١" حيث يكون الحد الأقصى للخطأ المسموح به في أي قوس لا يزيد عن ٢"٠ كما يجب ألا يزيد متوسط قفل الأفق لعدد ٨-١٢ قوس أقل من ٦"٠



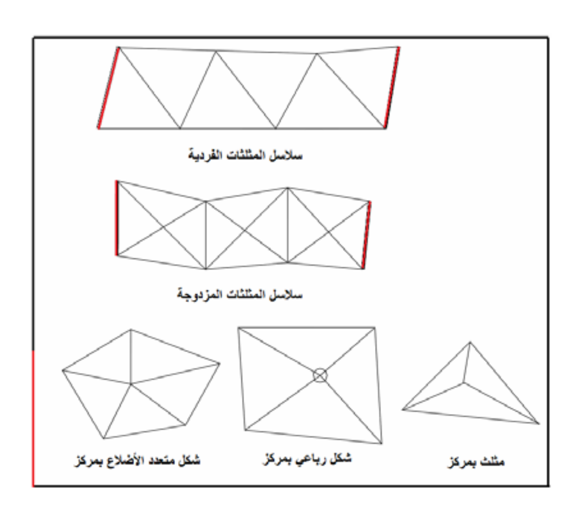
شكل (١٤-٤) شبكة المثلثات الجيوديسية (الدرجة الأولى) في مصر

(ب) شبكات مثلثات الدرجة الثانية:
ويتم إنشاؤها وربطها على الدرجة الأولى وهى أقل منها في الدقة وأطوال الأضلاع حيث تتراوح أطوال أضلاعها بين ١٠ و ٤٠ كيلومتر (بمتوسط ٢٥ كيلومتر) بينما يكون طول خط القاعدة في حدود ٢-٥ كيلومتر٠ ويكون متوسط الخطأ المسموح به في قفل المثلث ٣" بينما الحد الأقصى لقفل المثلث لا يزيد عن ٥"٠ وبالنسبة لقياس طول خط القاعدة فان الخطأ النسبي المسموح به لا يزيد عن ١: ٥٠٠,٠٠٠ ويتم رصد الزوايا بعدد ٨ أقواس باستخدام ثيودليت دقة ١٠" حيث يكون الحد الأقصى للخطأ المسموح به في أي قوس لا يزيد عن ٦"٠ كما يجب ألا يزيد متوسط قفل الأفق لعدد ٦ أقواس أقل من ٢,٥ "٠

(ج) شبكات مثلثات الدرجة الثالثة:
ويتم إنشاؤها وربطها على الدرجة الأولى والثانية بغرض تقسيم المنطقة وتكثيف النقط. وتتراوح أطوال أضلاعها بين ٥ و ٨ كيلومتر في الأرياف ، وبين ١ و ٣ كيلومتر في المدن. و يكون طول خط القاعدة في حدود ٠,٥ -٣ كيلومتر ويكون متوسط الخطأ المسموح به في قفل المثلث ٥" بينما الحد الأقصى لقفل المثلث لا يزيد عن ١٠". وبالنسبة لقياس طول خط القاعدة فان الخطأ النسبي المسموح به لا يزيد عن ١: ٢٠٠,٠٠٠ ويتم رصد الزوايا بعدد ٤ أقواس باستخدام ثيودليت دقة ٢٠" حيث يكون الحد الأقصى للخطأ المسموح به في أي قوس لا يزيد عن ١٥". كما يجب ألا يزيد متوسط قفل الأفق لعدد ٤ أقواس أقل من ٥ ".

(د) شبكات مثلثات الدرجة الرابعة:
وتستعمل في الأراضي الجبلية أو عندما يراد إنشاء نقط مثلثات جديدة وتنشأ بالربط على الدرجة الثالثة. وهذا النوع من المثلثات هو أقل الدرجات دقة وتختار أطوال أضلاعها طبقا لظروف وطبيعة الارض. وفى الأراضي المستوية نستعيض عن مثلثات الدرجة الرابعة بالترافرسات الدقيقة ويكون متوسط الخطأ المسموح به في قفل المثلث ١٢" بينما الحد الأقصى لقفل المثلث لا يزيد عن ٣٠". وبالنسبة لقياس طول خط القاعدة فان الخطأ النسبي المسموح به لا يزيد عن ١: ١٠٠,٠٠٠ ويتم رصد الزوايا بعدد قوسين.

أما من حيث الشكل فأن أشكال شبكات المثلثات تتراوح بين: سلاسل المثلثات الفردية، سلاسل الأشكال الرباعية، سلاسل الأشكال ذات المركز ومنها المثلث بنقطة مركزية و الشكل الرباعي المركزي وأشكال متعدد الأضلاع بنقطة مركزية، الأشكال المتداخلة.



شكل (١٤-٥) أشكال شبكات المثلثات

١٤-٣-٢ خطوات إنشاء شبكات المثلثات

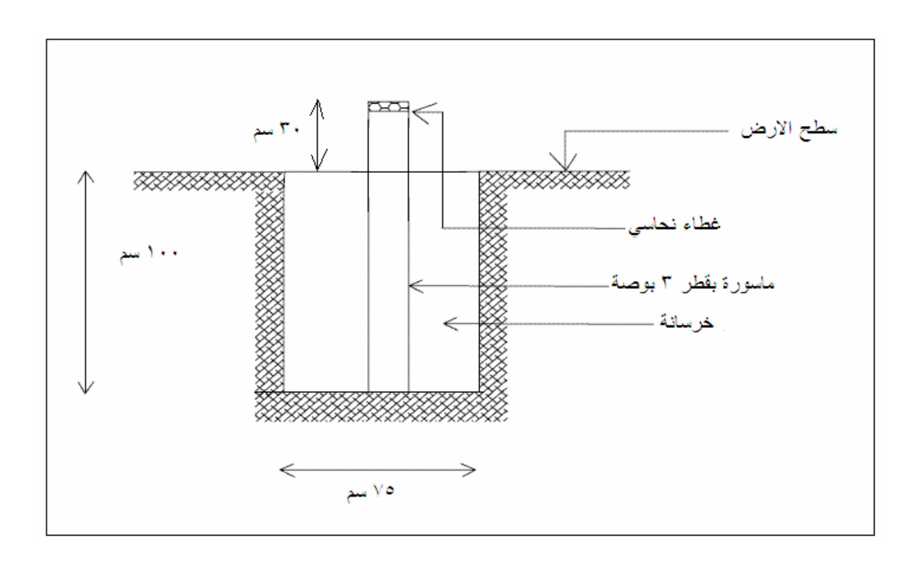
يعد الاستكشاف أول خطوة في إنشاء شبكة مثلثات وهو إن كان أشق عملية للمساحات الشاسعة إلا أن نجاح تشكيل الشبكة يعتمد علي دقة الاستكشاف. تهدف عملية الاستكشاف إلي اختيار مواقع نقاط المثلثات و مواقع خطوط القواعد وأيضا تحديد المعوقات (أية معوقات تمنع الرؤية وخط النظر بين النقاط) المطلوب إزالتها. يمكن الاعتماد علي الخرائط القديمة للمنطقة (أو المرئيات الفضائية الآن) في أعمال الاستكشاف و اختيار مواقع نقاط المثلثات.

عند اختيار مواقع نقاط المثلثات يجب مراعاة الآتي:

١. كل نقطة تري النقاط التي حولها بكل وضوح.
٢. أن تتراوح الزوايا بين أضلاع المثلثات (التي تكونها هذه النقاط) بين ٣٠ و ١٢٠ درجة بقدر الإمكان وتفضل المثلثات متساوية الأضلاع تقريبا.
٣. تجنب النقاط القريبة من سطح الأرض وذلك تفاديا لتأثير الانكسار الضوئي عند الرصد.
٤. اختيار مواقع النقاط في مواقع مرتفعة و مشرفة علي مناطق واسعة لسهولة رؤية الهدف من مسافات بعيدة.
٥. أن تكون مواقع النقاط في أماكن ثابتة غير معرضة للضياع أو للعبث بها.
٦. أن تكون أضلاع المثلثات متناسقة فلا توجد أضلاع طويلة جدا وأخري صغيرة جدا.
٧. أن تكون العقبات المراد إزالتها (تعيق خط النظر بين النقاط) أقل ما يمكن تفاديا لارتفاع تكلفة المشروع.

لإنشاء نقط المثلثات يتم بناء مواقع النقاط بعلامات خاصة تدل على النقطة وتساعد في سهولة الوصول اليها. وتختلف هذه العلامات طبقا لدرجة نقط المثلثات وطبيعة المكان المنشأة به، ومن هذه العلامات:

- البراميل الخراسانية بقطر ٦٠ سم وارتفاع ١١٠ سم وتستخدم في نقاط مثلثات الدرجة الاولى.
- القضبان الحديدية التي يتراوح طولها بين ١٥٠ ، ٢٠٠ سم بقطر ٤ بوصة ويظهر منها حوالي ١٠ سم فوق سطح الأرض ويمكن صب جزء حرساني حول قاعدتها لضمان ثباتها. ويستخدم هذا النوع في مثلثات الارياف.
- قطع الخشب المربعة ١٥×١٥ سم وبوسطها ثقب به مسمار نحاسي يحدد مركزها وتوضع أعلى أسطح المباني في المدن.



شكل (١٤-٦) نموذج لبناء علامة مثلثات

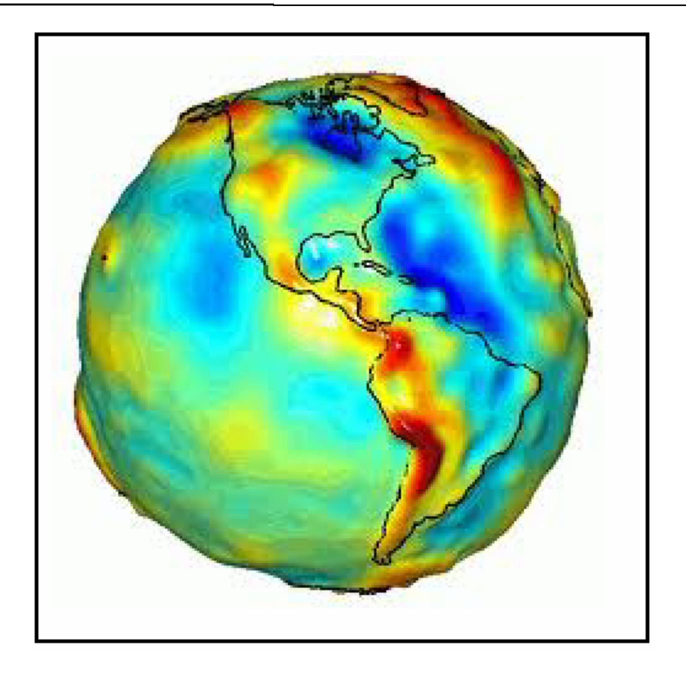
١٤-٤ الجيوديسيا الطبيعية

يهدف فرع الجيوديسيا الطبيعية أو الفيزيقية Physical Geodesy لدراسة الخصائص الفيزيائية (وليست الهندسية) لشكل الأرض وخاصة خصائص مجال الجاذبية الأرضية وتأثيراته علي أعمال المساحة و إنشاء الخرائط.

١٤-٤-١ الجاذبية الأرضية

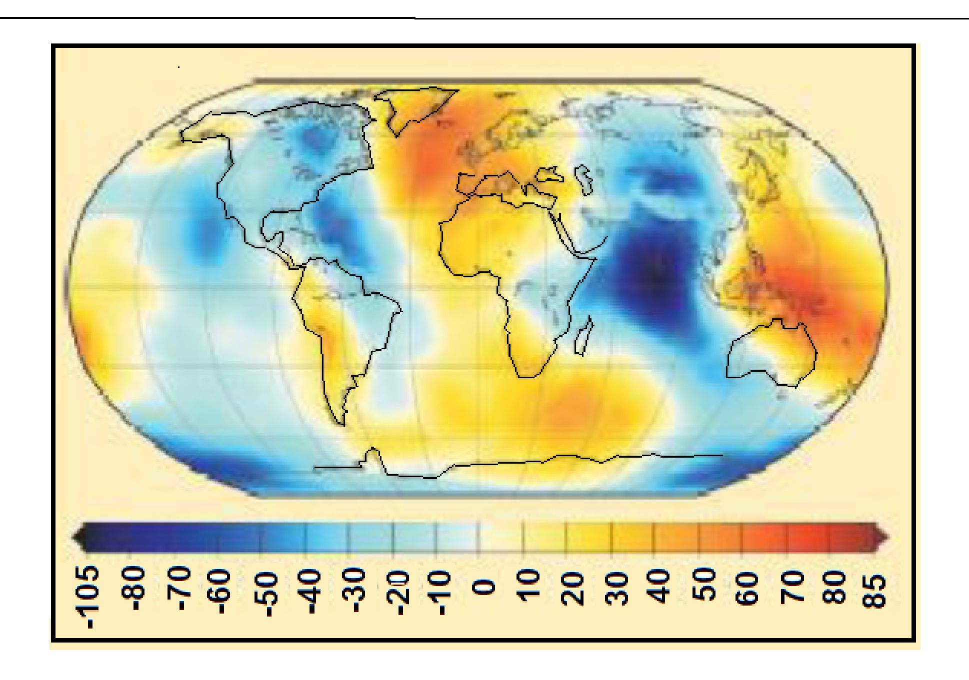
كوكب الأرض عبارة عن مجسم شبه كروي (سواء كرة أو الييسويد) يوجد علي سطحه العديد من المعالم الطبيعية و البشرية، فلماذا لا تقع كل هذه الأشياء من علي سطح الأرض؟ السبب أن الخالق العظيم قد خلق قوة تربط بين كل ما علي سطح الأرض تجعلهم جميعا منجذبين لهذا الكوكب ولا يتناثرون منه إلي الفضاء الخارجي. هذه القوة – التي هي من أسباب الحياة علي الأرض – هي المعروفة باسم الجاذبية الأرضية أو التثاقلية الأرضية. أما عن سبب وجود هذه القوة فيرجع إلي ما أكتشفه العالم الكبير اسحق نيوتن من أن أي جسمين بينهما قوة جذب متبادل تعتمد علي كتلة كلا الجسمين و المسافة بينهما. فأنت تجذب الأرض و الأرض تجذبك أيضا، لكن بما أن كتلة جسمك لا تقارن بكتلة الأرض ذاتها فأن تأثير جذب الأرض هو الأقوى وهو المؤثر عليك. وحيث أن الأرض ما هي إلا كوكب من مكونات المجموعة الشمسية التي تضم العديد من الكواكب الأخرى و النجوم فأن هناك قوة جذب أخري بين الأرض وهذه الأجسام السماوية و خاصة الشمس و القمر.

إن كانت الأرض كرة تامة الاستدارة (حيث نصف قطرها يساوي ٦٣٧٠ كيلومترا) و كان توزيع المواد والكثافات داخل باطن الأرض توزيعا منتظما فان قوي الجاذبية ستكون متساوية في أي جزء من سطح الأرض، وقد قدرها العلماء بقيمة ٩.٨٢ متر/ثانية^{٢}. لكن لأن الأرض ليست كرة تامة (وإنما الييسويد) وأيضا تختلف كثافات موادها تحت السطح فأن الجاذبية الأرضية لن تكون متساوية للأرض بأكملها، فهي تبلغ ٩.٧٨ متر/ثانية^{٢}عند خط الاستواء و تبلغ ٩.٨٣ متر/ثانية^{٢}عند القطبين. أي أن قيمة الجاذبية الأرضية تكون أكبر عند القطبين منها عند خط الاستواء ويرجع السبب في ذلك إلي أن سطح الأرض عند القطبين يكون أقرب لمركز الأرض بينما يكون أبعد من مركز الأرض عند خط الاستواء، أي أن الجاذبية الأرضية تزيد مع زيادة دوائر العرض. ومن هنا فيجب قياس قيم الجاذبية الأرضية عند منطقة العمل المطلوبة من سطح الأرض.



شكل (١٤-٧) عدم انتظام شكل الأرض ومجال جاذبيتها

ترجع أهمية قياسات الجاذبية الأرضية في تطبيقات المساحة إلي أن العمل المساحي الحقلي الذي يتم علي سطح الأرض يكون تحت تأثير هذه القوة. فعندما نضبط أفقية أي جهاز مساحي (ميزان أو ثيودليت أو محطة شاملة) فأن الجهاز يصبح عمودي علي اتجاه قوة الجاذبية الأرضية، وهكذا في النقطة التالية ثم النقطة التالية وهكذا. لكن اتجاه الجاذبية الأرضية عند أي نقطة ليس موازيا لاتجاهها عند النقطة التالية (لأن اتجاهات قوي الجاذبية تتجه نحو مركز الأرض) وبالتالي يكون هناك تأثيرا للجاذبية الأرضية علي كل القياسات المساحية التي تتم علي سطح الأرض. ثم أن الخرائط المساحية تعتمد علي شكل الاليبسويد في الحسابات وهو شكل مختلف عن شكل الأرض الحقيقي (الجيويد الذي لا يمكن استخدامه في الحسابات بسبب أنه متعرج ولا يمكن وصفه بمعادلات رياضية) حتى وان كان قريبا جدا منه. أي أننا نحتاج لمعرفة الفروق بين شكل الأرض الحقيقي (وهو الجيويد) وشكل الاليبسويد الذي تتم عنده الحسابات، وهذه الفروق يمكن تحديدها وقياسها من خلال قياس قيمة الجاذبية الأرضية. هذه الفروق تختلف من مكان لآخر علي سطح الأرض فتبلغ -١٠٥ متر في الهند بينما تبلغ +٧٣ متر عند غينيا الجديدة.



شكل (١٤-٨) الفروق بين الجيويد و الاليبسويد

تقاس قيم الجاذبية الأرضية بوحدة رئيسية تسمي "جال Gal" حيث:
١ جال = ١/١٠٠ متر/ثانية٢

وتتفرع منها وحدات فرعية منها:

مللي جال mGal = جزء من ألف من الجال، أي = جزء من مائة ألف متر/ثانية٢.
ميكرو جال μGal = جزء من مليون من الجال، أي = جزء من مائة مليون متر/ثانية٢.

بمعني إذا قلنا أن الجاذبية الأرضية المتوسط للأرض = ٩.٨٢ متر/ثانية٢، فهي تساوي ٩٨٢ جال، أو ٩٨٢٠٠٠ مللي جال.

<u>١٤-٤-٢ أجهزة قياس الجاذبية الأرضية</u>

تنقسم أجهزة قياس الجاذبية الأرضية إلي مجموعتين:

<u>(١) أجهزة قياس الجاذبية المطلقة Absolute Gravity Meters:</u>

أجهزة تقيس قيمة الجاذبية عند نقطة محددة. وهي أجهزة ذات مواصفات تقنية عالية وبالتالي فأن سعرها باهظ للغاية، كما أنها تحتاج لتدريب كبير جدا وعدد آخر من المعدات المتصلة بها أثناء إجراء القياسات والتي قد تستمر لمدة ٢٤-٤٨ ساعة للنقطة الواحدة. ولذلك فأن عدد أجهزة قياس الجاذبية المطلقة يعد عددا بسيطا في العالم و لا تمتلك هذه الأجهزة إلا الجهات العالمية المتخصصة في الجاذبية الأرضية مثل هيئة المساحة الأمريكية مثلا. تصل دقة قياس الجاذبية المطلقة إلي ٠.١ ميكرو جال أو ما يعادل ٠.٠٠٠١ مللي جال.

(٢) أجهزة قياس الجاذبية النسبية Relative Gravity Meters:

أجهزة تقيس فرق الجاذبية بين نقطتين (مثل الميزان الذي يقيس فرق المنسوب بين نقطتين لكنه لا يقيس منسوب النقطة ذاته). هذه المجموعة من الأجهزة هي الأرخص و الأشهر والمتوافرة بكثرة حول العالم، ومن أشهر الشركات المصنعة لها شركات LaCoaste and Romberg الأمريكية و شركة Scintrex الكندية. تتراوح دقة قياس الجاذبية النسبية بين ٠.٠١ و ٠.٠٠١ مللي جال أو ما يعادل ١٠ ، ١ ميكرو جال علي الترتيب..



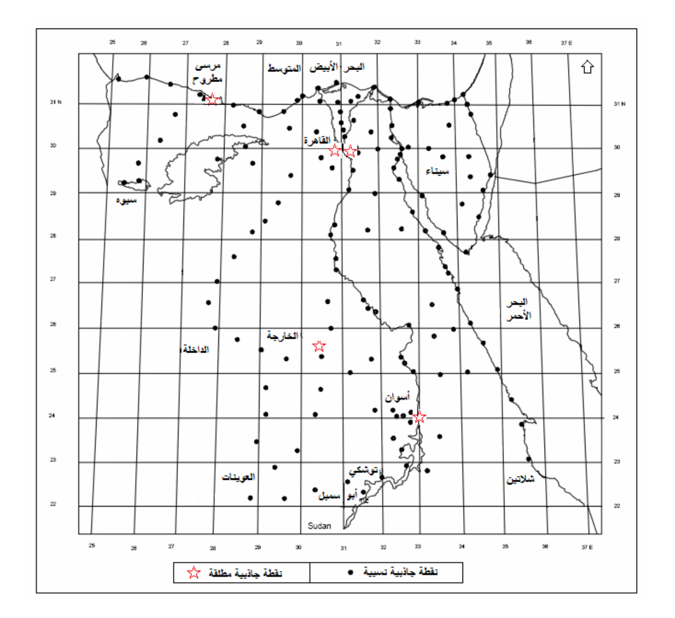
شكل (١٤-٩) أجهزة قياس الجاذبية الأرضية

١٤-٤-٣ شبكات الجاذبية الأرضية

تستخدم قياسات و بيانات الجاذبية الأرضية في عدة مجالات منها الكشف عن الموارد الطبيعية الموجودة تحت سطح الأرض مثل المياه الجوفية و البترول و الغاز و المعادن ...الخ. لذلك فأن كل دولة تقوم بإنشاء شبكة أساسية من نقاط الجاذبية الأرضية لتعد مرجعا أساسيا لقياسات الجاذبية الأرضية في أنحاء الدولة. ومن وجهة النظر المساحية فأن شبكات الجاذبية الأرضية تعد أحد أنواع الشبكات الجيوديسية المطلوبة للعمل المساحي مثلها مثل شبكات المثلثات و شبكات الروبيرات وشبكات الجي بي أس.

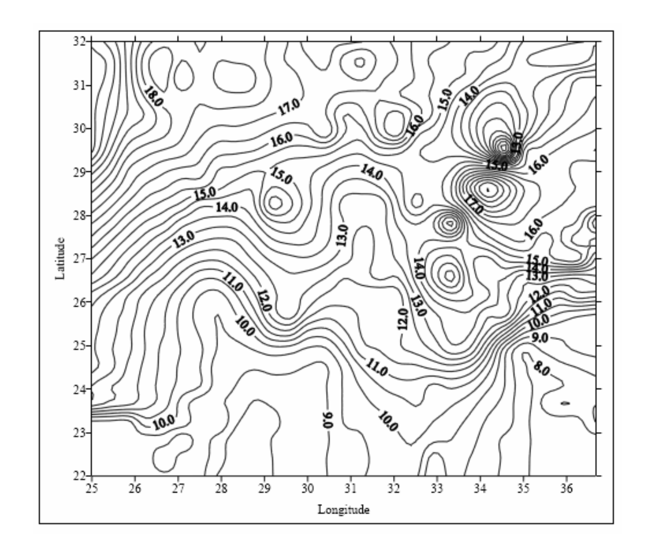
في جمهورية مصر العربية – علي سبيل المثال – قام معهد بحوث المساحة التابع للمركز القومي لبحوث المياه بوزارة الموارد المائية و الري في الفترة من ١٩٩٤م إلي ١٩٩٧م بإنشاء الشبكة القومية المصرية للجاذبية الأرضية Egyptian Gravity Standardization Network 1997 والمعروفة اختصارا باسم EGNSN97. تتكون الشبكة من عدد ١٥٠ نقطة تغطي تقريبا معظم أنحاء الدولة منهم ١٤٥ نقطة جاذبية نسبية بالإضافة إلي ٥ نقاط جاذبية مطلقة (تم قياسهم بالتعاون مع هيئة المساحة العسكرية الأمريكية التي تمتلك أحد أجهزة

قياس الجاذبية المطلقة). تم رصد إحداثيات كل نقطة باستخدام تقنية الجي بي أس، كما تم رصد منسوب معظم النقاط باستخدام أسلوب الميزانية الدقيقة من أقرب روبير.



شكل (١٤-١٠) الشبكة القومية المصرية للجاذبية الأرضية

بعد ضبط قياسات الجاذبية الأرضية للشبكة تبين أن دقة الجاذبية الأرضية تبلغ في المتوسط ٠.٠٢١ مللي جال، وأن أقل قيمة للجاذبية الأرضية في مصر تبلغ ٩٧٨٦٨٠ مللي جال عند الحدود المصرية السودانية في أقصي الجنوب، وأن أقصي قيمة بلغت ٩٧٩٥٠٥ مللي جال عند ساحل البحر الأبيض المتوسط. من الشبكة القومية للجاذبية الأرضية أمكن تطوير نموذج جيويد يحدد الفروق بين سطح الجيويد وسطح الاليبسويد في مصر بحيث يمكن استخدامه في تحويل الارتفاعات المقاسة بالجي بي أس إلي مناسيب أو ارتفاعات عن متوسط منسوب سطح البحر. تراوحت قيم هذه الفروق بين ٧ أمتار تقريبا في أقصي الجنوب عند الحدود مع السودان و ٢٢ متر في أقصي شمال مصر و بمتوسط يبلغ ١٥ متر تقريبا.



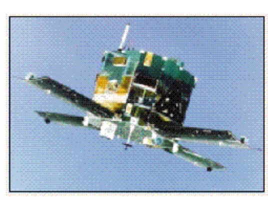
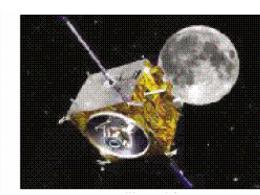
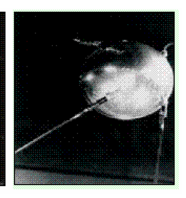
شكل (١٤-١١) الجيويد في مصر بناءا علي قياسات الجاذبية الأرضية

الفصل الخامس عشر

النظام العالمي لتحديد المواقع

١٥-١ الأقمار الصناعية

مع بداية النصف الثاني من القرن العشرين الميلادي دخلت المعرفة البشرية منعطفا تقنيا جديدا حيث أستطاع الإنسان أن يرسل أجساما معدنية إلي خارج نطاق الغلاف الجوي لكوكب الأرض ، وهي الأجسام التي أصطلح علي تسميتها بالأقمار الصناعية Satellites (شكل ١٥-١). يعد إطلاق القمر الصناعي الروسي الأول "سبوتنيك-١ Sputbik-1" في ٤ أكتوبر ١٩٥٧ هو إعلان دخول الإنسان لعصر الأقمار الصناعية. هذا و قد بدأ إطلاق الأقمار الصناعية و غزو الفضاء – بصفة عامة – بعد أن تطورت عدة تقنيات و خاصة الصواريخ و الرادار ، فالصاروخ هو الوسيلة لإيصال القمر الصناعي إلي الفضاء (كان أول صاروخ يطلق للفضاء بواسطة فريق علماء ألمان بقيادة براون في عام ١٩٣٤) و الرادار مهم لتعقب القمر و معرفة موقعه ، كما ساهم التطور في الحاسبات الآلية و أنظمة الاتصالات في الإسراع بالدخول إلي عصر الفضاء.

شكل (١٥-١) بعض الأقمار الصناعية

يمكن تقسيم الأقمار الصناعية – بصفة عامة – إلي ثلاثة مجموعات أو أنواع:

أ- أقمار صناعية ملاحية Navigation Satellites يكون هدفها الأساسي تقديم تقنيات ووسائل دقيقة لعمليات الملاحة بين موقعين (سواء الملاحة الأرضية أو البحرية أو الجوية أو حتى الملاحة الفضائية) ، وتأتي في هذه المجموعة من الأقمار الصناعية نظم أو تقنيات مثل نظام الجي بي أس GPS و نظام جاليليو Galileo و نظام دوبلر Doppler و نظام جلوناس GLONASS.

ب- أقمار صناعية للاتصالات Communication Satellites وهي أقمار تساعد في نقل البيانات (مثل البث الإذاعي و التلفزيوني) وتوزيعها علي أجزاء كبيرة من سطح الأرض لتتغلب علي مشكلة كروية الأرض التي تعيق النقل المباشر الأرضي لهذه البيانات. ومن أمثلة هذه النوعية من الأقمار الصناعية: النيل سات و العرب سات المستخدمين في البث التلفزيوني.

ت- أقمار صناعية لدراسة موارد الأرض Earth Resources Satellites ومنها أقمار صناعية خاصة بدراسة البحار و أخري خاصة بدراسة الطقس و ثالثة مخصصة للتصوير الفضائي أو ما يعرف الآن بأقمار الاستشعار عن بعد Remote Sensing Satellites.

١٥-٢ تحديد المواقع بالاعتماد على الأقمار الصناعية

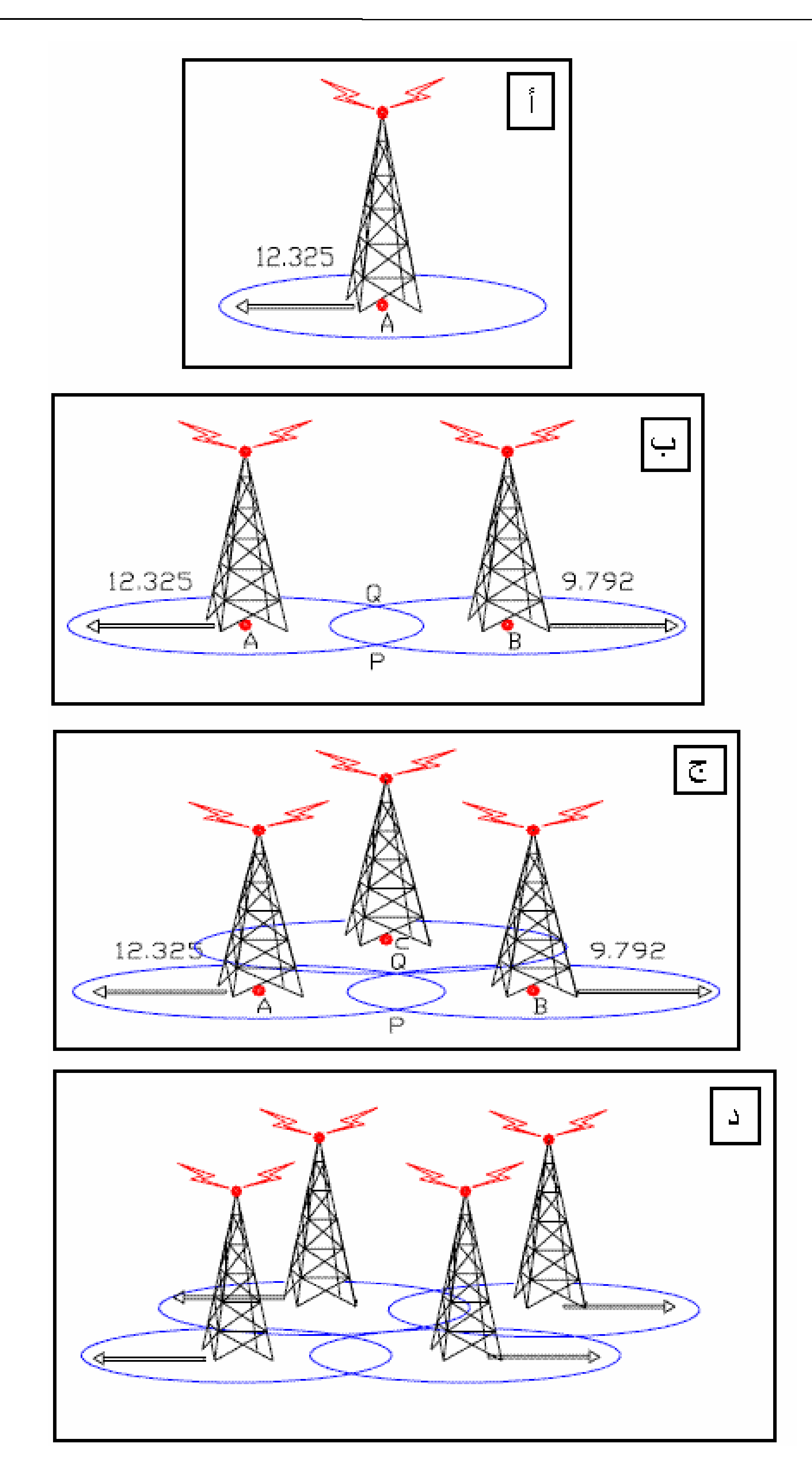
قبل بدء عصر الأقمار الصناعية توصل العلماء إلي طريقة جديدة لتحديد المواقع بالاعتماد علي الموجات الراديوية أو الكهرومغناطيسية ، وكان المبدأ الأساسي في هذه الطريقة هو قياس الزمن الذي تستغرقه الموجه الراديوية في الرحلة ذهابا و عودة بين محطة البث أو الإرسال Transmitting Station وجهاز الاستقبال Receiver. فإذا استخدمنا القاعدة العلمية المعروفة:

المسافة = السرعة × الزمن (١٥-١)

وباعتبار أن سرعة الموجة تعادل سرعة الضوء (حوالي ٣٠٠ ألف كيلومتر في الثانية) فيمكننا حساب المسافة بين محطة الإرسال و جهاز المستقبل. لكن يتبادر إلي الأذهان السؤال التالي: كيف يمكن لهذه الفكرة - أو هذه المسافة التي يمكن حسابها – أن تستخدم في تحديد موقع شخص معين؟ الإجابة سهلة و تتكون من (شكل ١٥-٢):

نفترض أن برج إرسال قد تم وضعه فوق نقطة معلومة الموقع ولتكن نقطة A علي سطح الأرض ، ونحن لدينا وحدة أو جهاز استقبال لهذه الموجات الراديوية في موقع ما غير معلوم. عند فتح جهاز الاستقبال وقياس (أو حساب) المسافة بين هذا الموقع المجهول و المحطة أو البرج عند A وجدنا أنها تساوي ١٢.٣٢٥ متر مثلا. إن هذه المعلومة (شكل ١٥-٢ أ) لا تخبرنا أين موقعنا بالضبط ولكنها تقرب موقعنا إلي أي نقطة علي محيط الدائرة التي نصف قطرها يساوي ١٢.٣٢٥ متر حول برج الإرسال A (وهو البرج المعلوم موقعه مسبقا). الآن نفترض أننا قمنا بتثبيت برج إرسال ثاني فوق نقطة معلومة أيضا ولتكن B علي سطح الأرض ، و بنفس الطريقة قمنا بحساب (أو قياس) المسافة بواسطة جهاز استقبال الموجات الراديوية فكانت تساوي ٩.٧٩٢ متر.هذه المعلومة الجديدة تخبرنا أيضا أننا نقع علي محيط دائرة مركزها نقطة B ونصف قطرها يساوي ٧.٧٩٢ متر. أي أننا موجودين علي بعد ١٢.٣٢٥ متر من نقطة A وأيضا علي بعد ٩.٧٩٢ متر من نقطة B. وهذا يؤدي بنا أننا نقع عند تقاطع هاتين الدائرتين ، أما عند نقطة P أو عند نقطة Q (شكل ١٥-٢ ب). أي أننا نستخلص أن وجود برجين إرسال يمكننا من تحديد احتمال موقع من موقعين ، ولا يخبرنا بالضبط أين نحن. نحتاج الآن لبرج إرسال ثالث يتم وضعه عند نقطة معلومة و لتكن C علي سطح الأرض ، و بنفس الطريقة نقوم بحساب (أو قياس) المسافة بواسطة جهاز استقبال الموجات الراديوية. هذه المسافة الثالثة ستخبرنا بكل تأكيد هل نحن عند النقطة P أو عند النقطة Q (شكل ١٥-٢ ج).

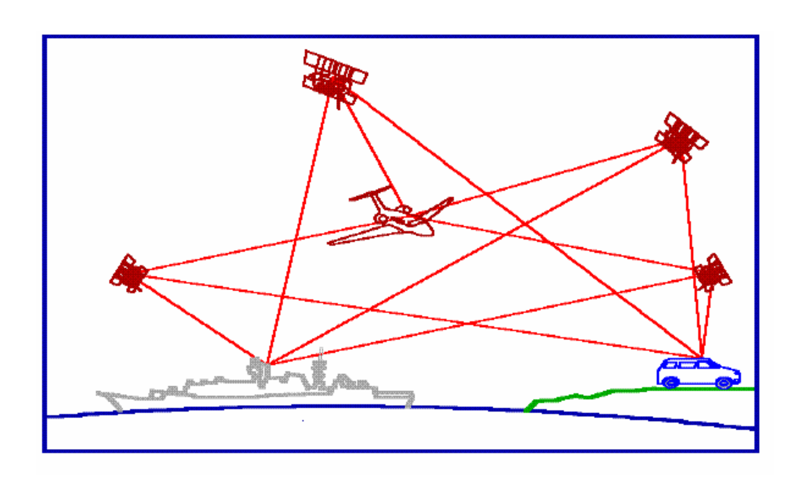
فإذا كانت الأبراج أو محطات الإرسال الثلاثة تعمل باستمرار وفي نفس الوقت ، فأن أي جهاز استقبال لهذه الموجات الراديوية سيستقبل الإشارات المرسلة من المحطات الثلاثة و يمكنه بسرعة تحديد موقعه في هذه اللحظة. فإذا كان جهاز الاستقبال هذا متحركا (أي موجود علي سفينة مثلا) فأنه باستطاعته تحديد موقعه باستمرار عند كل لحظة في مسيرته. فإذا أضفنا برج إرسال رابع فأن هذه المنظومة ستكون ذات كفاءة عالية لان البرج الرابع سيكون حكما للوثوق في إشارات الأبراج الثلاثة الأساسية كما أنه سيكون احتياطيا في حالة عدم استقبال الإشارات من أيا من الأبراج الثلاثة (شكل ١٥-٢ د). وتسمي هذه الطريقة لتحديد المواقع بنظم الملاحة الراديوية Radio Navigation Systems.



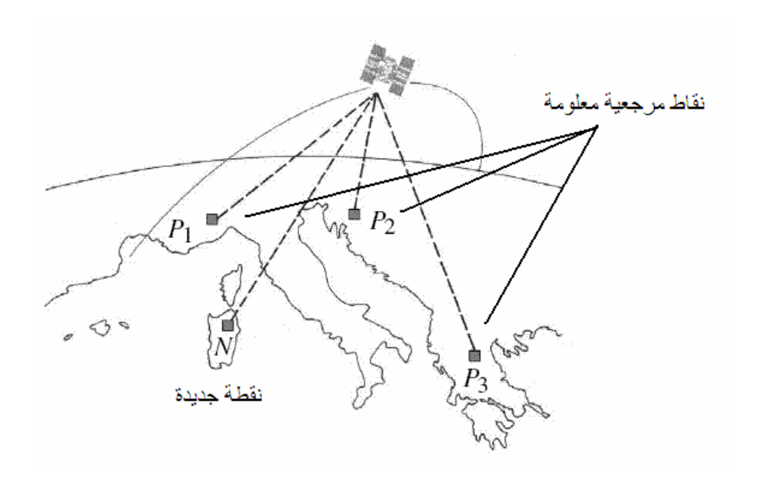
شكل (١٥-٣) الملاحة الراديوية و تحديد المواقع

من أمثلة هذه النظم الراديوية لتحديد المواقع نظام لوران LORAN وهو اختصارا لاسم "الملاحة للمساحات الشاسعة LOng RAnge Navigation" والذي بدأ في الولايات المتحدة الأمريكية تقريبا في عام ١٩٥٠ ويهدف أساسا لمساعدة السفن في إبحارها. تكون نظام لوران من عدد من السلاسل (السلسلة مكونة من ٤ أبراج إرسال تغطي كل محطة أو برج حوالي ٥٠٠ ميل) ليمكن تغطية الساحل الغربي الأمريكي كله. لكن هذه النظم الملاحية كان لها بعض العيوب أو المعوقات مثل: (١) أي نظام سيكون ذو تغطية محدودة تبلغ حوالي ٥% من سطح الأرض وبالتالي فلن يصلح ليكون نظام ملاحة عالمي ، (٢) يستطيع هذا النظام تحديد المواقع في اتجاهين فقط – أي الموقع الأفقي – لكنه لا يمكنه تحديد الارتفاع في الاتجاه الرأسي، (٣) دقة النظام كانت في حدود ٢٥٠ متر والتي قد يمكن اعتبارها مناسبة للملاحة البحرية لكنها غير مناسبة للملاحة الجوية – للطائرات – أو لطرق المساحة الأرضية التي تتطلب دقة أعلي في تحديد المواقع.

مع ظهور الأقمار الصناعية طبق العلماء نفس مبدأ الملاحة الراديوية في تطوير ما عرف باسم الملاحة بالأقمار الصناعية Satellite Navigation. فإذا استبدلنا محطات الإرسال الأرضية بأقمار صناعية ترسل موجات راديوية يستطيع جهاز الاستقبال أن يتعامل معها ويحسب المسافة من موقعه إلي موقع كل قمر صناعي فيمكن تحديد الموقع الذي به هذا المستقبل. ربما يتبادر إلي الأذهان الآن سؤال: أبراج الإرسال كانت ثابتة و معلومة الموقع وكنا نستخدمها كعلامات مرجعية Reference Points تمكننا من حساب موقع جهاز الاستقبال ، لكن الأقمار الصناعية غير ثابتة فكيف سيمكن التعامل معها؟ الإجابة هي أن كل قمر صناعي يكون معلوم المدار الذي يدور عليه في الفضاء وتكون من أهم مهام الجهة المسئولة عن نظام الأقمار الصناعية أن تراقب كل قمر و تحدد موقعه بكل دقة في كل لحظة، وبالتالي فيمكننا القول أن موقع كل قمر صناعي يكون معلوما في أي لحظة طوال ٢٤ ساعة يوميا ، أي أن كل قمر صناعي سيكون بمثابة نقطة مرجعية (شكل ١٥-٣). وطبقا لهذا المبدأ الأساسي فيمكن اعتبار القمر الصناعي – من وجهة النظر المساحية – علي أنه هدف Target عالي الارتفاع ، بحيث إذا أمكن رصده من ثلاثة نقاط أرضية معلومة الإحداثيات فيمكن تحديد موقع نقطة مجهولة ترصد هذا القمر الصناعي في نفس اللحظة (شكل ١٥-٤).



شكل (١٥-٣) الملاحة بالأقمار الصناعية



شكل (١٥-٤) المبدأ المساحي للملاحة بالأقمار الصناعية

تطورت نظم الملاحة بالأقمار الصناعية مع إطلاق نظام الملاحة الأمريكي Navy Navigation Satellite System الذي عرف باسم ترانزيت Transit وأيضا باسم نظام دوبلر Doppler - في الستينات من القرن العشرين الميلادي، وكان الهدف الرئيسي منه تحديد مواقع القطع البحرية في البحار و المحيطات والمعرفة الدقيقة لإحداثيات المواقع الإستراتيجية. وبالرغم من هذه الأهداف العسكرية إلا أن المهندسين المدنيين قد استخدموا هذا النظام في العديد من التطبيقات المساحية وخاصة إنشاء شبكات الثوابت الأرضية الدقيقة. أعتمد نظام الدوبلر علي عدد من الأقمار الصناعية التي تدور علي ارتفاع حوالي ١٠٠٠ كيلومتر من سطح الأرض حيث يكمل كل قمر دورة كاملة حول الأرض في مدة تبلغ ١٠٧ دقيقة وكانت دقة تحديد المواقع الأرضية اعتمادا علي هذا النظام في حدود ٣٠-٤٠ متر. ومع أن أقمار الدوبلر تغطي معظم أنحاء الأرض إلا أن عددها (٦ أقمار صناعية فقط) لم يكن يسمح بتواصل الإشارات طوال ٢٤ ساعة يوميا – بل لعدة ساعات طبقا للموقع المطلوب علي الأرض – مما لم يلبي حاجة مستخدمي النظام سواء العسكريين أو المدنيين وأدي ذلك إلي بدء وزارة الدفاع الأمريكية - مع بداية السبعينات - في تطوير نظام ملاحي آخر.

١٥-٣ تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع: الجي بي أس

بدأت عدة جهات علمية و حكومية اقتراح نظم جديدة و في عام ١٩٦٩ قامت وزارة الدفاع بإنشاء برنامج جديد تحت اسم البرنامج العسكري للملاحة بالأقمار الصناعية DNSS لتوحيد الجهود وراء إطلاق نظام ملاحي جديد. وبالفعل تم اقتراح تقنية جديدة تحت اسم ***"النظام العالمي الملاحي لتحديد المواقع بقياس المسافة و الزمن باستخدام الأقمار الصناعية NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System"*** أو اختصارا باسم NAVSRAT GPS ، إلا أنه عرف علي نطاق واسع – بعد ذلك – باسم النظام العالمي لتحديد المواقع أو اختصارا ***"جي بي أس GPS"***. تم إطلاق أول قمر صناعي في هذا النظام في ٢٢ فبراير ١٩٧٨ وفي ٨ ديسمبر ١٩٩٣ تم إعلان اكتمال النظام مبدئيا Initial Operational Capability (IOC) ، أما الإعلان النهائي لاكتمال النظام رسميا Fully Operational Capability (FOC) فقد كان في ٢٧ أبريل ١٩٩٥. وفي بدايته كان الجي بي أس مقصورا علي الاستخدامات العسكرية للقوات المسلحة الأمريكية وحلفاؤها حتى أعلن الرئيس الأمريكي ريجان في عام ١٩٨٤ السماح للمدنيين باستخدامه (لكن ليس جميع مميزاته أو مستوي الدقة العالية في تحديد المواقع !) ، وكان ذلك

بعد حادثة إسقاط القوات المسلحة الروسية لطائرة ركاب كورية مدنية بعد دخولها بالخطأ في المجال الجوي الروسي. ويدار الجي بي أس من خلال وزارة الدفاع الأمريكية وهي الجهة المسئولة عن إطلاق الأقمار الصناعية و مراقبتها و التأكد من كفاءة تشغيلها واستبدالها كل فترة زمنية بحيث تكون إشارات هذه التقنية متاحة ٢٤ ساعة يوميا وعلي مدار كل الأيام لجميع المستخدمين علي سطح الأرض. وفي عام ١٩٩٦ تم تكوين لجنة عليا تضم عدد من الوزارات الأمريكية لكي تشرف علي نظام الجي بي أس و تضع السياسات المستقبلية اللازمة ، وسميت باللجنة التنفيذية مابين الوزارات Inter-Agency GPS Executive Board أو اختصارا IGEB (الرابط علي شبكة الانترنت في: http://www.igeb.gov/charter.shtml) .

تشتمل تقنية الجي بي أس علي العديد من المميزات التي ساعدت علي انتشارها بصورة لم يسبق لها مثيل ومنها:

- متاح طوال ٢٤ ساعة يوميا ليلا و نهارا وعلي مدار العام كله.
- يغطي جميع أنحاء الأرض.
- لا يتأثر بأية ظروف مناخية مثل درجات الحرارة و المطر و الرطوبة والرعد و البرق و العواصف.
- الدقة العالية في تحديد المواقع لدرجة تصل إلي ملليمترات في بعض التطبيقات و طرق الرصد الجيوديسية أو دقة أمتار قليلة للتطبيقات الملاحية.
- الوفرة الاقتصادية بحيث أن تكلفة استخدام الجي بي أس تقل بنسبة أكبر من ٢٥% بالمقارنة بأي نظام ملاحي أرضي أو فضائي آخر.
- لا يحتاج لخبرة تقنية متخصصة لتشغيل أجهزة الاستقبال (وخاصة المحمولة يدويا) لدرجة أن بعض مستقبلات الجي بي أس أصبحت تدمج في الساعات اليدوية و أجهزة الاتصال التليفوني.

تعددت التطبيقات المساحية لتقنية الجي بي أس بصورة كبيرة في السنوات الماضية وتشمل بعضها:

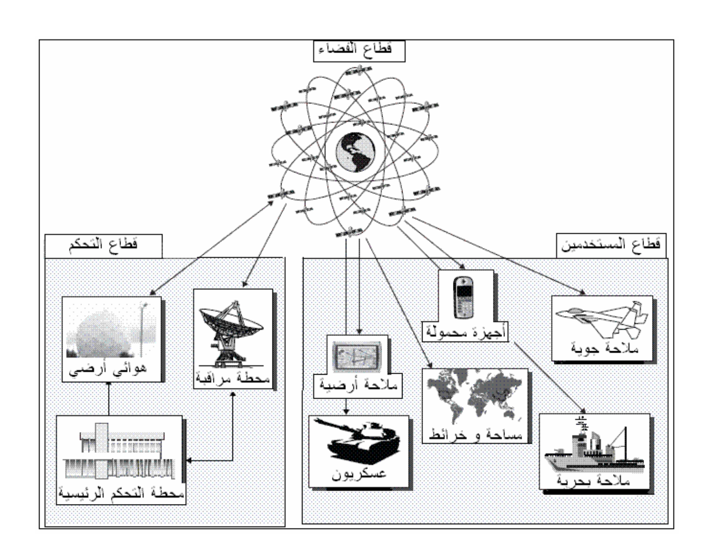
- إنشاء الشبكات الجيوديسية للثوابت الأرضية الدقيقة وتكثيف الشبكات القديمة منها (عن طريق إضافة محطات جديدة لها).
- رصد تحركات القشرة الأرضية.
- رصد إزاحة أو هبوط المنشئات الحيوية كالكباري و الجسور و السدود و القناطر.
- أعمال الرفع المساحي التفصيلي و الطبوغرافي.
- إنتاج خرائط طبوغرافية و تفصيلية دقيقة و في صورة رقمية.
- تحديد المواقع لعلامات الضبط الأرضي للصور الجوية Aerial Photogrammetry و المرئيات الفضائية لنظم الاستشعار عن بعد Remote Sensing.
- تطبيقات المساحة التصويرية الأرضية Close-Range Photogrammetry.
- تطوير نماذج الجيويد الوطنية بالتكامل مع أسلوب الميزانية الأرضية.
- تجميع البيانات المكانية عند استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems أو GIS ، وخاصة لتطبيقات تحديد مواقع الخدمات المدنية Location-Based Services وتطبيقات النقل الذكي Intelligent Transportation وأيضا تطبيقات نظم معلومات الأراضي Land Information Systems أو LIS.

- الربط بين المراجع الجيوديسية المختلفة للدول في حالات المشروعات الحدودية المشتركة.
- نظم الخرائط المحمولة Mobile Mapping Systems أو MMS.
- الرفع الهيدروجرافي و تطوير الخرائط البحرية و النهرية.
- تثبيت و توثيق مواقع العلامات الحدودية بين الدول.
- بدمج تقنيتي الجي بي أس و نظم المعلومات الجغرافية أمكن إنتاج خرائط رقمية و قواعد بيانات محمولة يدويا للمدن بكافة تفاصيلها و خدماتها.

١٥-٣-١ مكونات نظام الجي بي أس

يتكون نظام الجي بي أس من ثلاثة أجزاء أو أقسام (شكل ١٥-٥) هي:

- قسم الفضاء ويحتوي الأقمار الصناعية Space Segment.
- قسم التحكم و السيطرة Control Segment.
- قسم المستقبلات الأرضية أو المستخدمون User Segment.



شكل (١٥-٥) أقسام الجي بي أس

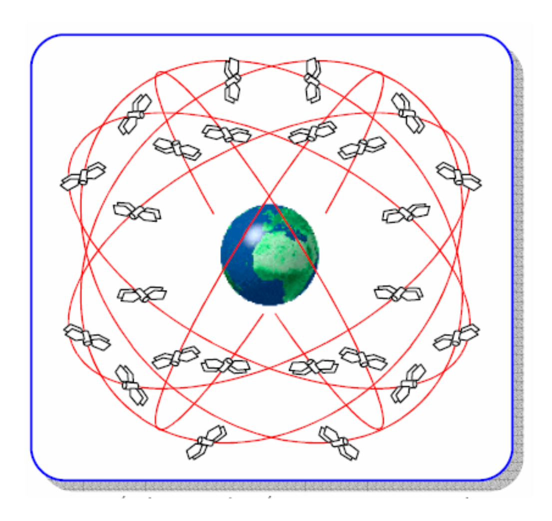
وسنستعرض الملامح الرئيسية لكل قسم من هذه الأقسام الثلاثة.

قسم الفضاء أو الأقمار الصناعية:

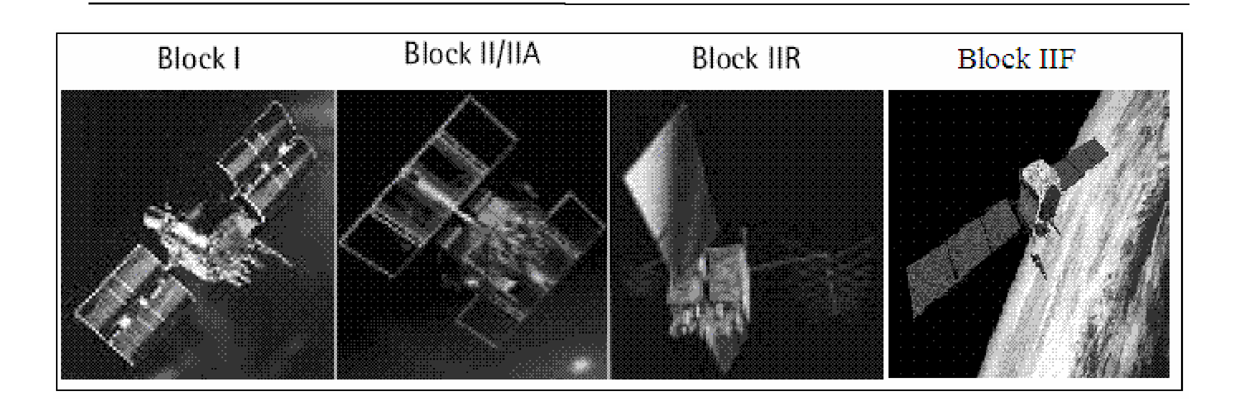
يتكون قسم الفضاء - اسميا - من ٢٤ قمرا صناعيا (٢١ قمر عامل + ٣ أقمار احتياطية spare موجدة في الفضاء) موزعة في ٦ مدارات بحيث يكون هناك ٤ أقمار صناعية في كل مدار مما يسمح بالتغطية الدائمة (أي وجود علي الأقل ٤ أقمار صناعية) لكل موقع علي سطح الأرض في أي لحظة طوال اليوم (شكل ١٥-٦). وقد يصل عدد الأقمار الصناعية في وقت معين إلي ما هو أكثر من ٢٤ قمرا طبقا لخطة إطلاق الأقمار الصناعية. وتدور الأقمار الصناعية في مدارات شبه دائرية علي ارتفاع حوالي ٢٠٢٠٠ كيلومتر من سطح الأرض ليكمل كل قمر صناعي دورة كاملة حول الأرض في مدة ١١ ساعة و ٥٦ دقيقة بالتوقيت الزمني الأرضي العالمي GMT. ويتراوح وزن القمر الصناعي بين ٤٠٠ و ٨٥٠ كيلوجرام ويبلغ

عمره الافتراضي (للأجيال الحديثة من الأقمار الصناعية) حوالي سبعة سنوات و نصف، ويستمد طاقته من خلال صفيحتين لالتقاط الطاقة الشمسية بالإضافة لوجود ثلاثة بطاريات احتياطية من النيكل تزوده بالطاقة عندما يمر بمنطقة ظل الأرض. ويقوم كل قمر صناعي بتوليد موجتين علي ترددين مختلفين Frequency يسموا L1 و L2 بالإضافة لشفرتين Codes و رسالة ملاحية Navigation Message يتم بثهم علي هذين الترددين. كما يحتوي كل قمر علي عدد من الساعة الذرية Atomic Watch سواء من نوع السيزيوم cesium أو الرابيديوم rubidium.

تغيرت مواصفات و كفاءة الأقمار الصناعية في نظام الجي بي أس علي مر السنوات بحيث يمكن تقسيم الأقمار إلي عدد من الأجيال (شكل ١٥-٧). بدأت أقمار الجيل الأول – يسمي Block I – وعددهم ١١ قمرا مع بداية تقنية الجي بي أس منذ إطلاق القمر الأول في ٢٢ فبراير ١٩٧٨ وكان آخر أقمار هذا الجيل الذي أطلق في ٩ أكتوبر ١٩٨٥. وكان ميل مدار أقمار الجيل الأول ٦٣° علي مستوي دائرة الاستواء والعمر الافتراضي المصمم للقمر الواحد هو أربعة سنوات و نصف (إلا أن بعضهم بقي يعمل بكفاءة لحوالي عشرة سنوات). وكان الجيل الثاني من الأقمار الصناعية Block II/IIA أكثر كفاءة من سابقه وتكون من ٢٨ قمرا صناعيا تم إطلاقها في الفترة بين فبراير ١٩٨٩ و نوفمبر ١٩٩٧ بحيث يبلغ ميل مدار القمر الصناعي ٥٥° علي دائرة الاستواء ، و زاد العمر الافتراضي للقمر الواحد إلي سبعة سنوات و نصف. ثم تعددت الأجيال الفرعية من الجيل الثاني لتصبح هناك أقمار IIR (٢١ قمر بعمر افتراضي يبلغ عشرة سنوات) وأقمار IIR-M وأقمار IIF (بعمر افتراضي يصل إلي خمسة عشر عاما) ، كما بدأ العمل في تصميم أقمار الجيل الثالث من الأقمار الصناعية Block III.



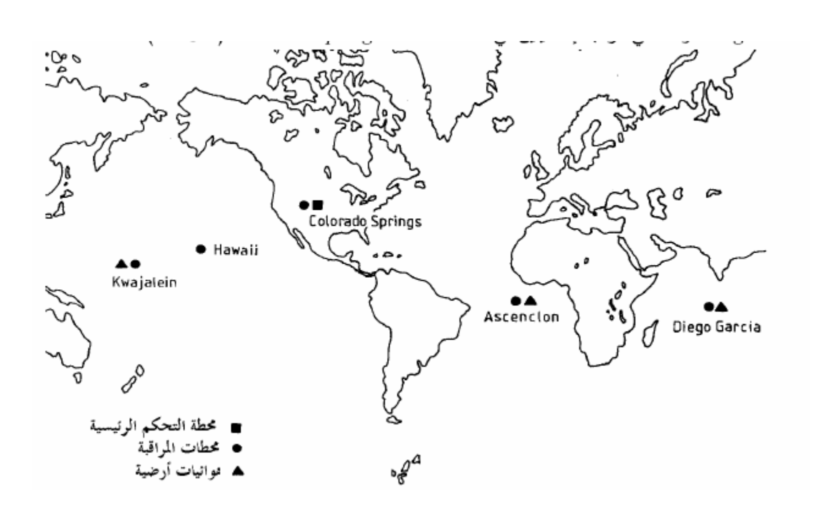
شكل (١٥-٦) قطاع الفضاء في تقنية الجي بي أس



شكل (١٥-٧) نماذج للأقمار الصناعية في نظام الجي بي أس

قسم التحكم و المراقبة:

يتكون قسم التحكم و المراقبة من محطة التحكم الرئيسية في ولاية كلورادو الأمريكية وأربعة محطات مراقبة في عدة مواقع حول العالم (شكل ١٥-٨). تستقبل محطات المراقبة كل إشارات الأقمار الصناعية وتحسب منها المسافات لكل الأقمار المرصودة وترسل هذه المعطيات بالإضافة لقياسات الأحوال الجوية إلي محطة التحكم الرئيسية والتي تستخدم هذه البيانات في حساب المواقع اللاحقة للأقمار وسلوك (تصحيحات) ساعاتها وبالتالي تكون الرسالة الملاحية لكل قمر صناعي. تقوم محطة التحكم الرئيسية بعمل التصحيحات اللازمة لمدارات الأقمار الصناعية وكذلك تصحيح ساعات الأقمار ، ثم تقوم بإرسال هذه المعلومات للأقمار الصناعية (مرة كل ٢٤ ساعة) والتي تقوم بتعديل مساراتها و أزمانها وبعد ذلك ترسل هذه البيانات المصححة كإشارات إلي أجهزة الاستقبال الأرضية.



شكل (١٥-٨) قسم التحكم و السيطرة

قسم المستقبلات الأرضية:

يضم هذا القطاع أجهزة استقبال الجي بي أس (مستخدمو النظام) التي تستقبل إشارات الأقمار الصناعية وتقوم بحساب موقع – إحداثيات – المكان الموجود به المستقبل سواء علي الأرض أو في الجو أو في البحر ، بالإضافة لسرعة واتجاه حركة المستقبل إن كان متحركا أثناء فترة الرصد (شكل ١٥-٩). بصفة عامة يتكون جهاز الاستقبال من: هوائي مع مضخم إشارة ، وحدة

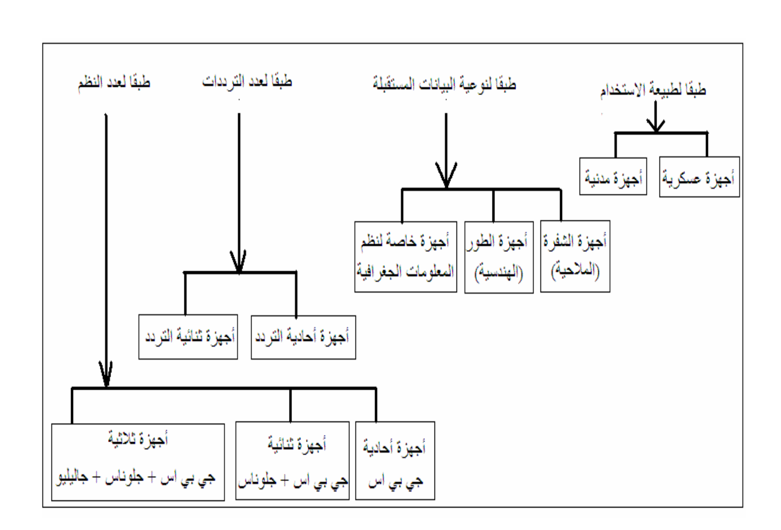
تردد راديوي أو لاقط الإشارات، مولد ترددات ، وحدة تأمين الطاقة الكهربائية ، وحدة التحكم للمستخدم ، بالإضافة إلي وحدة ذاكرة لتخزين القياسات. تتعدد أنواع أجهزة الاستقبال بصورة كبيرة جدا طبقا لعدد من العوامل (سنتعرض بالتفصيل لمواصفات الأجهزة الهندسية لاحقا):

أ- طبقا لطبيعة الاستخدام: توجد أجهزة استقبال عسكرية (تستطيع التعامل مع الشفرة العسكرية التي تبثها الأقمار الصناعية وتفك شفرتها للحصول علي دقة عالية جدا في حساب المواقع) وأجهزة استقبال مدنية.

ب- طبقا لنوعية البيانات المستقبلة: توجد مستقبلات تسمي بأجهزة الشفرة Code ومشهورة أيضا باسم الأجهزة الملاحية Navigation Receivers أو الأجهزة المحمولة يدويا Hand-Held Receivers ، وتوجد أجهزة تسمي بأجهزة قياس الطور Phase ومعروفة أيضا باسم الأجهزة الهندسية أو الجيوديسية Geodetic Receivers ، وظهرت حديثا الفئة الثالثة من الأجهزة والتي أطلق عليها أجهزة تجميع البيانات لنظم المعلومات الجغرافية GIS-Specific Receivers (شكل ١٥-١٠).

ج- طبقا لعدد الترددات: توجد أجهزة تستقبل تردد واحد من الترددين الذين تبثهما الأقمار الصناعية وتسمي أجهزة أحادية التردد Single-Frequency Receivers أو أجهزة التردد الأول L1-Receivers ، وأجهزة ثنائية التردد Dual-Frequency Receivers التي تستطيع استقبال كلا ترددي الجي بي أس L1 and L2 (وهي أغلي قليلا من الأجهزة أحادية التردد).

د- طبقا لعدد النظم: هناك أجهزة تتعامل فقط مع إشارات نظام الجي بي أس ، وأجهزة ثنائية النظام تستقبل الإشارات من كلا من الجي بي أس و النظام الملاحي الروسي جلوناس، وأجهزة ثلاثية النظم حيث يمكنها أيضا استقبال إشارات النظام الملاحي الأوروبي جاليليو عند بدء العمل به،



شكل (١٥-٩) أنواع أجهزة استقبال الجي بي أس



شكل (١٥-١٠) بعض أجهزة استقبال الجي بي أس

<u>١٥-٣-٢ فكرة عمل الجي بي أس في تحديد المواقع:</u>

كما سبق الإشارة فأن نظرية عمل نظم الملاحة أو الجيوديسيا بالأقمار الصناعية تعتمد علي مبدأ قياس الزمن الذي تستغرقه الموجة الراديوية منذ صدورها من وحدة البث (القمر الصناعي) وحتى وصولها لوحدة الاستقبال (المستقبل) ، ومن ثم يمكن حساب المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال من المعادلة:

$$D = c \,.\, \Delta t \qquad (15\text{-}2)$$

حيث D المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال ، c سرعة الإشارة وتساوي سرعة الضوء = ٢٩٩٧٩٢.٤٥٨ كيلومتر/ثانية ، Δt فرق الزمن = زمن الاستقبال – زمن الإرسال لهذه الموجة الراديوية.

يمكن التعبير عن هذه المسافة بدلالة الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية لكلا من القمر الصناعي (Xs, Ys, Zs) و جهاز الاستقبال (Xr, Yr, Zr) كالآتي:

$$D = \sqrt{[(Xs-Xr)^2 + (Ys-Yr)^2 + (Zs-Zr)^2]} \qquad (15\text{-}3)$$

حيث أن إحداثيات القمر الصناعي في أي لحظة تكون معلومة فأن المعادلة (١٥-٣) تحوي علي ٣ قيم مجهولة و هم إحداثيات جهاز الاستقبال ذاته (Xr, Yr, Zr). مما يدل علي أنه يلزم وجود ٣ معادلات حتى يمكن حلهم معا آنيا simultaneously لحساب قيم الإحداثيات الثلاثة لجهاز الاستقبال. أي بمعني آخر: يلزم لجهاز الاستقبال رصد ٣ أقمار صناعية في نفس اللحظة.

حيث أن سرعة الإشارة (سرعة الضوء) كبيرة جدا فأنه للوصول لدقة عالية في حساب المسافة يلزمنا دقة عالية أيضا في قياس الزمن أو حساب فرق الزمن Δt. لاحظ أن الإشارة لا تستغرق أكثر من ٠.٠٦ ثانية لتقطع مسافة ٢٠،٠٠٠ كيلومتر من القمر الصناعي إلي سطح الأرض. إن الساعة الموجودة في القمر الصناعي من النوع الذري عالي الدقة جدا في تحديد زمن الإرسال

(زمن خروج الإشارة من القمر الصناعي) لكن الساعة الموجودة في جهاز الاستقبال ليست بنفس هذه الدقة العالية (وإلا فأن سعرها سيكون مرتفعا جدا بصورة تجعل سعر أجهزة الاستقبال غير متاحة لكل المستخدمين). أبتكر العلماء فكرة جديدة وذكية للتغلب علي مشكلة عدم دقة الساعة في أجهزة الاستقبال ، وهي إضافة قيمة الخطأ في ساعة المستقبل وحلها من خلال معادلة رياضية. أي أن المعادلة (١٥-٢) والمعادلة (١٥-٣) ستتحولان إلي:

$$D = c \,.\, (\Delta t + Et) \qquad (15\text{-}4)$$

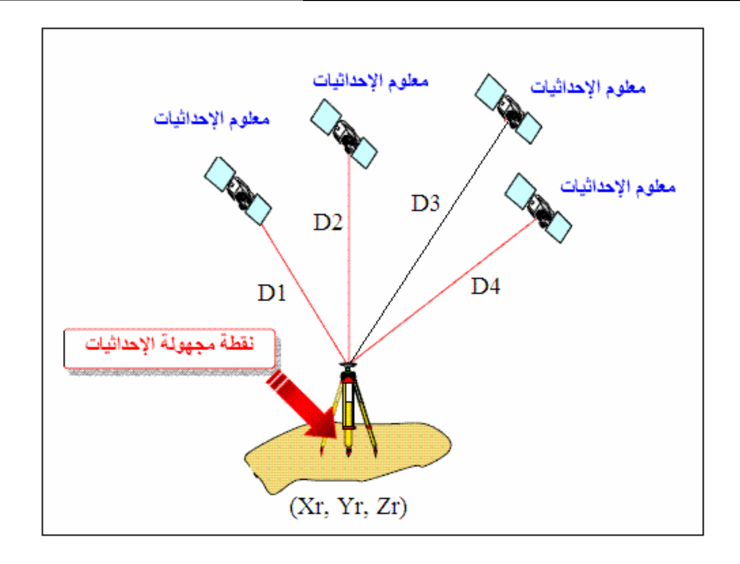
$$D + \Delta D = \sqrt{\,[\,(Xs-Xr)^2 + (Ys-Yr)^2 + (Zs-Zr)^2\,]} \qquad (15\text{-}5)$$

حيث Et هو الخطأ المطلوب حسابه لزمن الاستقبال الذي يقيسه جهاز المستقبل ، ΔD هو قيمة الخطأ في المسافة المحسوبة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال. وبالتالي فأن عدد القيم المجهولة Unknowns أصبح ٤ وليس ٣ (ثلاثة إحداثيات لموقع جهاز الاستقبال Xr, Yr, Zr وتصحيح المسافة الناتج عن خطأ ساعة الجهاز ΔD) مما يلزم وجود ٤ معادلات حتى يمكن حساب قيم العناصر الأربعة المجهولة (شكل ١٥-١١):

$$\begin{aligned}
D_1 + \Delta D_1 &= \sqrt{\,[\,(Xs_1-Xr)^2 + (Ys_1-Yr)^2 + (Zs_1-Zr)^2\,]} \\
D_2 + \Delta D_2 &= \sqrt{\,[\,(Xs_2-Xr)^2 + (Ys_2-Yr)^2 + (Zs_2-Zr)^2\,]} \\
D_3 + \Delta D_3 &= \sqrt{\,[\,(Xs_3-Xr)^2 + (Ys_3-Yr)^2 + (Zs_3-Zr)^2\,]} \\
D_4 + \Delta D_4 &= \sqrt{\,[\,(Xs_4-Xr)^2 + (Ys_4-Yr)^2 + (Zs_4-Zr)^2\,]}
\end{aligned} \qquad (15\text{-}6)$$

حيث D_1, D_2, D_3, D_4 المسافات المقاسة بين جهاز الاستقبال و الأقمار الصناعية الأربعة ، (Xs_1, Ys_1, Zs_1) و(Xs_2, Ys_2, Zs_2) و (Xs_3, Ys_3, Zs_3) و (Xs_4, Ys_4, Zs_4) تمثل إحداثيات الأقمار الصناعية الأربعة ، (Xr, Yr, Zr) تمثل إحداثيات جهاز الاستقبال ، Er يمثل خطأ زمن جهاز الاستقبال.

إذن: المطلوب لحل مجموعة المعادلات هذه هو أن يقوم جهاز الاستقبال برصد ٤ أقمار صناعية في نفس اللحظة. وهذا هو ***الشرط الأساسي*** لحساب الإحداثيات ثلاثية الأبعاد باستخدام الجي بي أس (نكتفي برصد ٣ أقمار صناعية فقط لحساب الإحداثيات ثنائية الأبعاد أي بإهمال حساب ارتفاع الموقع). فإذا توفر لدينا عدد من المعادلات أكبر من ٤ (أي تم رصد أكثر من ٤ أقمار صناعية في نفس اللحظة) فستؤدي هذه الأرصاد الزائدة Redundant Measurement إلي زيادة دقة و جودة حل المعادلات ومن ثم زيادة دقة الإحداثيات المستنبطة.



شكل (١٥-١١) مبدأ الرصد في نظام الجي بي أس

١٥-٣-٣ إشارات الأقمار الصناعية في الجي بي أس:

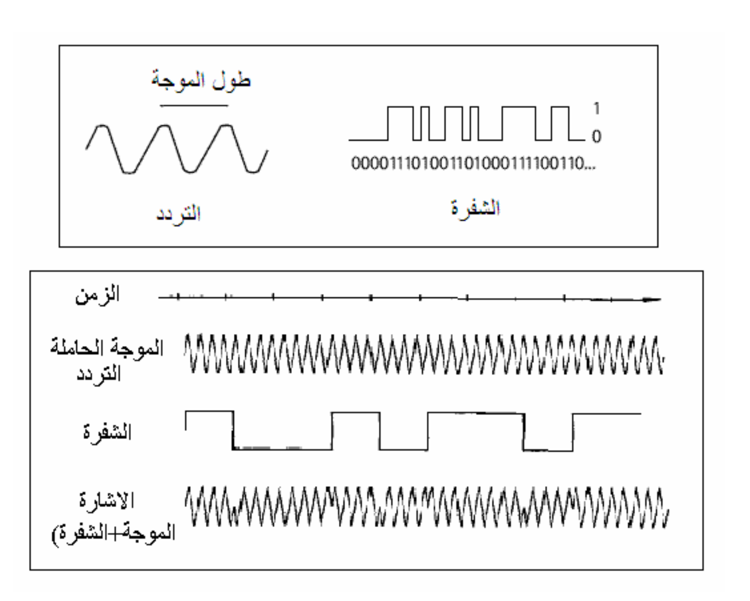
يقوم كل قمر صناعي من أقمار الجي بي أس بإرسال إشارتين راديوتين علي ترددين carrier frequencies ومحمل عليهما نوعين من الشفرات الرقمية digital codes بالإضافة لرسالة ملاحية navigation message. يبلغ تردد الإشارة الأولي – تسمي L1 – ١٥٧٥.٤٢ ميجاهرتز بينما يبلغ تردد الإشارة الثانية – تسمي L2 – ١٢٢٧.٦٠ ميجاهرتز. كما يبلغ طول الموجة wavelength لتردد L1 ١٩ سنتيمتر بينما يبلغ ٢٤.٤ سنتيمتر لتردد L2. السبب الرئيسي وراء وجود ترددين صادرين من كل قمر صناعي هو تقدير و حساب الخطأ الذي تتعرض له الإشارات عند مرورها في طبقات الغلاف الجوي (سنتعرض للأخطاء بالتفصيل لاحقا). أما طريقة وضع الشفرة modulation علي التردد الحامل له فتختلف من قمر صناعي لآخر حتى يتم تقليل أخطاء تداخل الإشارات.

الشفرة الأولي تسمي شفرة الحصول الخشن Coarse-Acquisition Code وترمز لها بالرمز C/A وأحيانا نسميها الشفرة المدنية (لأنها المتاحة للأجهزة المدنية للتعامل معها وقراءة محتوياتها) ، بينما الشفرة الثانية تسمي الشفرة الدقيقة Precise Code ويرمز لها بالرمز P والبعض يطلق عليها أحيانا اسم الشفرة العسكرية (لان التعامل معها وقراءتها لا يتم إلا باستخدام أجهزة استقبال خاصة غير متاحة إلا لأفراد الجيش الأمريكي). تتكون كل شفرة من سيل من الأرقام صفر و واحد ، ولذلك تعرف الشفرة بمصطلح الضجة العشوائية الزائفة Pseudo Random Noise أو PRN لان الشفرة تشبه الإشارة العشوائية ، لكن في الحقيقة فأن الشفرة يتم توليدها من خلال نموذج رياضي وليست عشوائية (شكل ١٥-١٢). تحمل شفرة C/A علي التردد الأول L1 فقط بينما تحمل الشفرة P علي كلا الترددين L1, L2. تجدر الإشارة – دون الدخول في تفاصيل فنية معقدة – أن الشفرة P أدق كثيرا من الشفرة C/A ولذلك فقد تم منع إمكانية قراءتها من قبل المستخدمين المدنيين منذ فبراير ١٩٩٤ وقصرها فقط علي التطبيقات العسكرية للولايات المتحدة الأمريكية و حلفاؤها (عن طريق إضافة قيم مجهولة لها تسمي W-code بحيث تتغير الشفرة من P إلي ما يسمي الشفرة Y-code).

وبذلك يمكن القول أن نظام الجي بي أس يقدم نوعين من الخدمات:

- خدمة التحديد القياسي للمواقع Standard Positioning Service أو اختصارا SPS والتي تعتمد علي استقبال و قراءة واستخدام البيانات من الشفرة المدنية C/A ، ولذلك تسمي هذه الخدمة بالخدمة المدنية.
- خدمة التحديد الدقيق للمواقع Precise Positioning Service أو اختصارا PPS والتي تعتمد علي استقبال و قراءة واستخدام البيانات من الشفرة الدقيقة P ولذلك تسمي هذه الخدمة بالخدمة العسكرية.

تتكون الرسالة الملاحية لكل قمر صناعي من مجموعة من البيانات ، وهي تضاف علي كلا الترددين L1, L2. تحتوي بيانات الرسالة الملاحية علي إحداثيات القمر الصناعي ، معلومات عن حالة و كفاءة القمر (صحة القمر satellite health) وأيضا الأقمار الأخرى ، تصحيح خطأ ساعة القمر ، الإحداثيات المتوقعة أو المحسوبة للقمر الصناعي (ولباقي الأقمار) في الفترة المستقبلة وتسمي almanac ، بالإضافة لبيانات عن الغلاف الجوي.



شكل (١٥-١٢) التردد و الشفرة في إشارات الأقمار الصناعية

١٥-٤ نظم ملاحية أخرى لتحديد المواقع:

لا يعد الجي بي أس هو النظام الملاحي الوحيد المتوافر حاليا لتحديد المواقع باستخدام الأقمار الصناعية ، فتوجد عدة نظم شبيهه سواء نظم عالمية (تغطي خدماتها كل الأرض) أو نظم إقليمية (تغطي خدماتها مناطق معينة). وسنلقي الضوء – في الجزء القادم – علي بعض هذه النظم.

النظام الروسي جلوناس:

تتشابه بدايات النظام الروسي للملاحة بالأقمار الصناعية (أسمه باللغة الروسية هو: GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema وبالانجليزية: GLObal Navigation Satellite System) المعروف اختصارا باسم جلوناس GLONASS مع بدايات الجي بي أس من حيث أنه نظام عسكري بدأ التفكير بتطويره في عام ١٩٧٦ أثناء فترة الحرب الباردة بين الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوفيتي السابق

(روسيا الآن) ، كما أنه مثل الجي بي أس فيدار بواسطة وزارة الدفاع. في ١٢ أكتوبر ١٩٨٢ تم إطلاق أول قمر صناعي في نظام جلوناس وأعلن النظام يعمل مبدئيا في ٢٤ سبتمبر ١٩٩٣.

يتكون نظام جلوناس – رسميا – من ٢١ قمرا صناعيا موزعة في ٣ مدارات حول سطح الأرض ، وتدور علي ارتفاع ١٩١٠٠ كيلومتر من سطح الأرض وزاوية ميل ٦٤.٨° بحيث يكمل كل قمر دورة حول الأرض كل ١١ ساعة و ١٥ دقيقة. يرسل كل قمر صناعي نوعين من الخدمات: الإشارة الدقيقة Precision Signal أو اختصارا SP ، الإشارة عالية الدقة High-Precision Signal أو اختصارا HP علي ترددات تتراوح بين ١٦٠٢.٥٦٢٥ و ١٦١٥.٥ ميجاهرتز(في النطاق المعروف باسم تردد L1). تبلغ الدقة المدنية جراء استخدام إشارات نظام جلوناس حوالي ٥٥ متر أفقيا و ٧٠ متر رأسيا عند رصد ٤ أقمار صناعية ، لكن دقة الإشارة عالية الدقة HP تكون أدق بكثير من هذه المستويات. من المتوقع أن تصل دقة نظام جلوناس لتحديد المواقع إلي حدود نفس الدقة التي يوفرها الجي بي أس بحلول عام ٢٠١١. تقع محطة التحكم الرئيسية في موسكو بينما توجد ٤ محطات مراقبة أخري داخل الأراضي الروسية.

<u>النظام الأوروبي جاليليو:</u>
في عام ١٩٩٩ تم اقتراح إقامة نظام جاليليو كمشروع مشترك بين الاتحاد الأوروبي EU و وكالة الفضاء الأوروبية ESA كبديل مدني تديره جهة مدنية بعكس وزارتي الدفاع اللتين تديران كلا من الجي بي أس و جلوناس. كما أن مشروع نظام ملاحي فضائي بهذا الحجم سيتيح قدرات هائلة للصناعة في الدول الأوروبية التي تشترك في تنفيذه ، حيث من المتوقع أن يتيح المشروع وظائف لحوالي ١٠٠ ألف شخص في أوروبا ، وسيكون العائد الاقتصادي للنظام ضخما حيث سيبلغ عدد مستخدميه ٣.٦ مليون مستخدم حتى عام ٢٠٢٠. كما تم السماح لعدة دول غير أوروبية (مثل الصين و كوريا الجنوبية و إسرائيل و المغرب و السعودية) بالمشاركة في تطوير جاليليو عن طريق المساعدات المادية أو الصناعية أو البحثية. اكتملت الدراسات التقنية المبدئية لهذا المشروع العملاق ، وبدأت مرحلة التطوير في عام ٢٠٠١ ، ومن المتوقع اكتمال النظام في عام ٢٠١٢.

سيتكون نظام جاليليو من ٣٠ قمر صناعي (٢٧ قمر عامل + ٣ أقمار احتياطية) موزعين في ثلاثة مدارات تميل بزاوية ٥٦° و علي ارتفاع ٢٣٦١٦ كيلومتر من سطح الأرض ، بحيث يكمل كل قمر دورة حول الأرض كل ١٤ ساعة و ٧ دقائق. وسيكون هناك مركزين أرضيين للمراقبة و التحكم في الأقمار الصناعية. ستقوم الأقمار الصناعية في نظام جاليليو ببث ١٠ إشارات: ٦ مخصصة للخدمة العامة و خدمة البحث و الانقاذ ، ٢ للخدمة التجارية ، ٢ لخدمة المرافق العامة. وستكون الإشارات في نطاقين من الترددات: ١١٦٤-١٢١٥ ميجاهرتز ، ١٥٥٩-١٥٩١ ميجاهرتز.

تم إطلاق أول قمر صناعي في منظومة جاليليو (GIOVE-A) في ٢٨ ديسمبر ٢٠٠٥ وكان إطلاق القمر التجريبي الثاني (GIOVE-B) في عام ٢٠٠٨ لوضع اللمسات النهائية علي النظام و مواصفاته و التأكد من تشغيله بجودة عالية.

<u>النظام الصيني بيدو:</u>
بدأ نظام بيدو (أو البوصلة) كنظام ملاحي يهدف لتغطية الصين فقط ، إلا أنه تطور لاحقا بهدف تحقيق تغطية إقليمية ثم الوصول بعد ذلك إلي التغطية العالمية. من المتوقع أن يتكون النظام من ٥ أقمار صناعية ثابتة المدار Geostationary Erath Orbit Satellites أو اختصارا

GEO بالإضافة إلي ٣٠ قمرا صناعيا متوسطة المدار Medium Earth Orbiting Satellites أو اختصارا MEO موزعين في ٦ مدارات علي ارتفاع ٢١٥٠٠ كيلومتر من سطح الأرض وبزاوية ميل ٥٥° ، وينتظر اكتمال هذا النظام بحلول عام ٢٠١٥. ترسل الأقمار الصناعية إشارتها في عدد من الترددات: ١١٩٥.١٤ ، ١٢١٩.١٤ ، ١٢٥٦.٥٢-١٢٨٠.٥٢، ١٥٥٩.٠٥-١٥٦٣.١٥ ، ١٥٨٧.٦٩-١٥٩١.٧٩ ميجاهرتز. تم إطلاق القمر الصناعي الثاني في هذا النظام الصيني في ١٤ أبريل ٢٠٠٩ ، والذي قامت الأكاديمية الصينية للفضاء و التكنولوجيا بتصنيعه. يتكون قطاع التحكم والسيطرة من ٣ محطات: محطة تحكم رئيسية ، محطة متابعة ، و محطة إرسال بيانات للأقمار الصناعية. من المتوقع أن يوفر نظام البوصلة خدماته بأسلوبين: الخدمة المفتوحة Open Service لكل المستخدمين والتي ستوفر دقة تحديد المواقع في حدود ١٠ متر ، الخدمة الخاصة Authorized Service للمستخدمين الخاصين.

نظم ملاحية إقليمية:

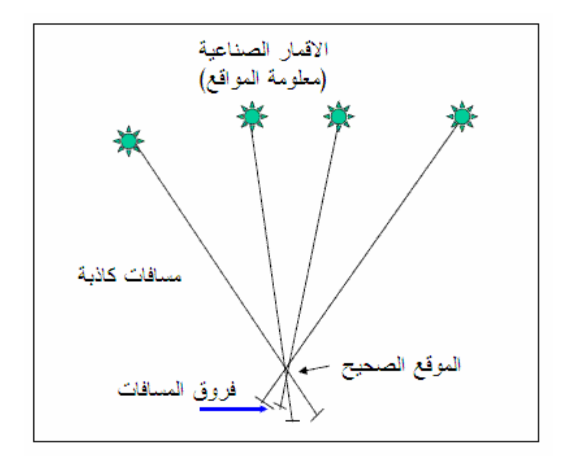
بالإضافة للنظم الملاحية الأربعة (الجي بي أس و جلوناس و جاليليو و بيدو) التي لها تغطية عالمية فتوجد عدة نظم ملاحية أخري تهدف لزيادة كفاءة الملاحة بالأقمار الصناعية في مناطق محددة من الأرض. قامت اليابان بتطوير نظام QZSS (مكون من ٣ أقمار صناعية) ليغطي حدودها الإقليمية. أيضا تقوم الهند بتطوير نظام ملاحي إقليمي – يسمي IRNSS – ليتم الانتهاء منه فيما بين عامي ٢٠٠٨ و ٢٠١١ ليزيد كفاءة الملاحة في حدودها الجغرافية الإقليمية.

١٥-٥ أرصاد الجي بي أس:

إن دراسة الأرصاد (أساليب القياس) التي يوفرها نظام الجي بي أس من الأهمية لمستخدم هذه التقنية حتى يلم بطرقها المختلفة ودقة تحديد الموقع الممكن الوصول إليها في كل نوع من الأرصاد المستخدمة. يوفر نظام الجي بي أس أربعة أنواع من الأرصاد (أو طرق قياس المسافات بين جهاز الاستقبال و الأقمار الصناعية) إلا أن نوعين فقط هما الشائعي الاستخدام والمطبقين في أجهزة الاستقبال ، وهما المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة (البعض يسميها أشباه المسافات) و فرق طور الإشارة الحاملة. تختلف دقة تحديد المواقع بدرجة كبيرة جدا باختلاف نوع الأرصاد ، فالأجهزة الملاحية تطبق طريقة المسافة الكاذبة ودقتها في حساب الإحداثيات بحدود عدة أمتار بينما تطبق الأجهزة الجيوديسية أسلوب فرق طور الإشارة الحاملة لتصل إلي مستوي عدة سنتيمترات في دقة تحديد المواقع. وسنتعرض لكلا نوعي الأرصاد في الأجزاء التالية.

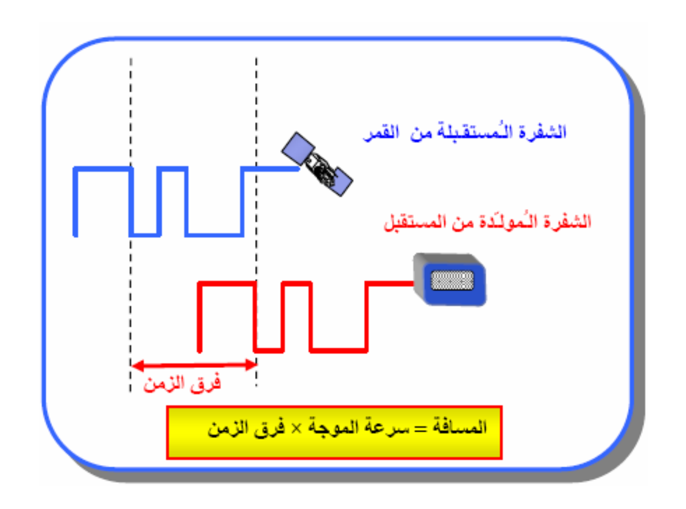
١٥-٥-١ أرصاد المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة:

يعتمد هذا الأسلوب أو هذا النوع من أرصاد الجي بي أس علي الفكرة البسيطة التي تعرضنا إليها سابقا وهي أن المسافة بين جهاز الاستقبال و القمر الصناعي تساوي سرعة الإشارة مضروبة في الزمن المستغرق. لكن بسبب وجود عدة مصادر للأخطاء فأن هذه المسافة المحسوبة لن تساوي المسافة الحقيقية بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال ، ولذلك تسمي المسافة الكاذبة Pseudorange (شكل ١٥-١٣).



شكل (١٥-١٣) مبدأ المسافات الكاذبة

لقياس المسافة الكاذبة يقوم جهاز الاستقبال بتطوير شفرة داخله (سواء الشفرة المدنية C/A أو الشفرة العسكرية الدقيقة P طبق لنوع جهاز الاستقبال ذاته) مماثلة للشفرة التي يستقبلها من القمر الصناعي. بمقارنة كلا الشفرتين يمكن حساب فرق الزمن الذي استغرقته الإشارة منذ صدورها من القمر الصناعي وحتى وصولها لجهاز الاستقبال ، ومن ثم يمكن حساب قيمة المسافة الكاذبة (شكل ١٥-١٤).



شكل (١٥-١٤) طريقة قياس المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة

من أهم مميزات ها النوع من أرصاد تقنية الجي بي أس أنه لا يتطلب مواصفات تقنية عالية تدخل في تصنيع أجهزة الاستقبال ، فاستخدام الشفرة لا يتطلب أجزاء الكترونية متقدمة وبالتالي فأن سعر جهاز الاستقبال لن يكون غاليا. ومن هنا فأن جميع أجهزة الاستقبال الملاحية Navigation أو المحمولة يدويا Hand-Held تطبق أسلوب المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة في تحديد المواقع.

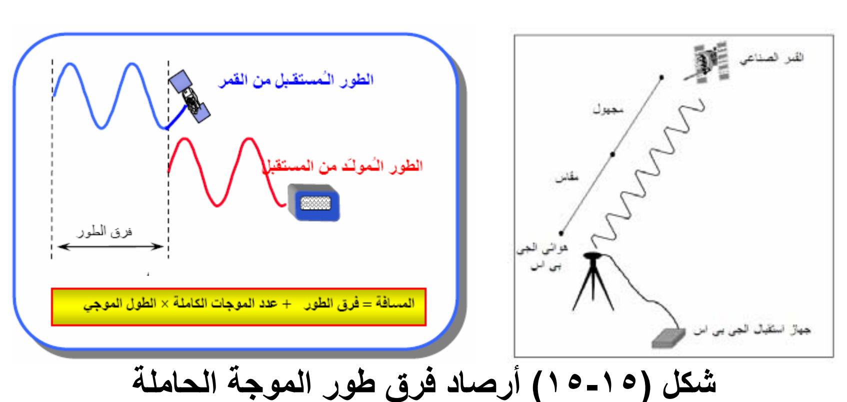
علي الجاني الآخر فأن أهم عيوب هذا النوع من أرصاد الجي بي أس يتمثل في أن الدقة المتوقعة لتحديد المواقع بهذا الأسلوب لن تكون عالية الدقة. يمكن تقدير دقة أرصاد المسافة الكاذبة بقيم تتراوح بين ±٦ متر (عند انحراف معياري 1σ أي بنسبة احتمال تبلغ ٦٨.٣%) و ±١٩ متر (عند انحراف معياري 3σ أي بنسبة احتمال تبلغ ٩٩.٧%) للإحداثيات الأفقية ،

بينما ستكون الدقة أكبر من هذه الحدود في الاحداثي الرأسي (من ±١١ إلي ±٤٢ متر). وبالطبع فقد تكون هذا الدقة في تحديد المواقع مناسبة للأعمال الاستكشافية و الجغرافية والخرائط ذات مقياس الرسم الصغير و بعض تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية ، إلا أنها دقة غير مناسبة للأعمال المساحية و الجيوديسية.

تجدر الإشارة إلي أن هذا النوع من أرصاد الجي بي أس يسمي أيضا التحديد المطلق للنقطة Absolute Point Positioning حيث أنه يعتمد علي استخدام جهاز استقبال واحد فقط لتحديد موقع أو إحداثيات النقطة المرصودة في نفس لحظة رصدها.

١٥-٥-٢ أرصاد فرق طور الإشارة الحاملة:

يقوم جهاز الاستقبال (الجيوديسي النوع) بتطوير موجة داخلية ثابتة تشبه الموجة التي يبثها القمر الصناعي ، ثم يقوم بمقارنة طور phase كلا الموجتين عن طريق قياس فرق الطور carrier phase or carrier beat phase والذي يكون دالة في المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال في لحظة الرصد. لكن هذا الفرق في الطور يتكون من جزأين: (١) العدد الصحيح integer للموجات الكاملة ، (٢) أجزاء الموجات عند كلا من جهاز الاستقبال و القمر الصناعي. وهنا تأتي أهم المشاكل التي تواجه نوع هذه الأرصاد: جهاز الاستقبال يستطيع وبكل دقة قياس أجزاء الموجات لكنه لا يستطيع تحديد عدد الموجات الكاملة. ومن ثم فأن العدد الصحيح للموجات الكاملة ويسمي الغموض الصحيح Integer Ambiguity أو اختصارا الغموض Ambiguity (N') يتم اعتباره قيمة مجهولة مطلوب حسابها أثناء إجراء حسابات تحديد المواقع (شكل ١٥-١٥ وشكل ١٥-١٦).



شكل (١٥-١٥) أرصاد فرق طور الموجة الحاملة

الموجة القادمة من القمر الصناعي
الموجة المولدة داخل جهاز الاستقبال
فرق الاشارات
الطور المرصود 120° 45°
الطور الكلي $360° \cdot N' + 120°$ $360° \cdot (N' + 3) + 45°$

شكل (١٥-١٦) كيفية قياس فرق طور الموجة الحاملة

من عيوب ها النوع من أرصاد تقنية الجي بي أس أنه يتطلب مواصفات تقنية عالية تدخل في تصنيع أجهزة الاستقبال ، فتوليد موجة داخل أجهزة الاستقبال يتطلب أجزاء الكترونية متقدمة وبالتالي فأن سعر جهاز الاستقبال سيكون غاليا مقارنة بأجهزة قياس المسافات الكاذبة. ومن هنا فأن أجهزة الاستقبال الملاحية Navigation أو المحمولة يدويا Hand-Held لا تطبق هذا الأسلوب ، إنما هو فقط مطبق في تحديد المواقع باستخدام الأجهزة الجيوديسية.

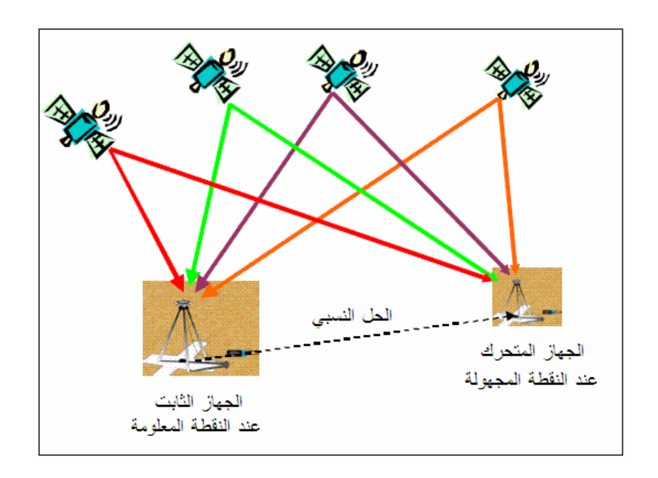
علي الجاني الآخر فأن أهم مميزات أرصاد الجي بي أس باستخدام فرق طور الإشارة الحاملة يتمثل في أن الدقة المتوقعة لتحديد المواقع بهذا الأسلوب تكون عالية. فالقاعدة العامة أن أقل مسافة يمكن قياسها بهذا النوع من الأرصاد = (٣٦٠/٢) من طول الموجة ، فمثلا طول موجة التردد الأول L1 = ١٩ سنتيمتر ، مما يسمح لنا بقياس مسافات تصل إلي ١ ملليمتر. وبالطبع فأن هذا المستوي العالي من الدقة في تحديد المواقع مناسبة للأعمال المساحية و الجيوديسية.

١٥-٦ طرق الرصد

لتحديد إحداثيات موقع أو نقطة معينة يكفي استخدام جهاز استقبال واحد يقوم باستقبال الموجات المرسلة من الأقمار الصناعية ، وهذا ما يطلق عليه التحديد المطلق للمواقع Absolute Point Positioning. لكن دقة هذه الإحداثيات ستكون في حدود عدة أمتار مما يجعل هذا الأسلوب مناسبا للتطبيقات الملاحية وبعض تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية أو للخرائط ذات مقياس الرسم الصغير ، لكنه بالطبع لن يكون مناسبا للتطبيقات المساحية و الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية في تحديد المواقع.

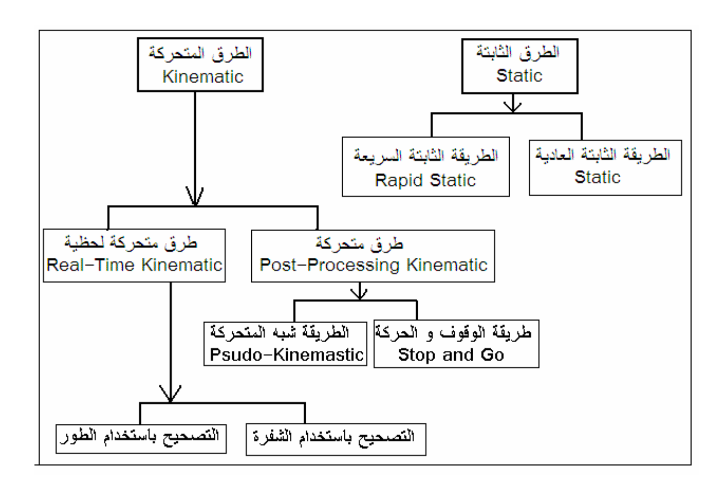
تتعدد طرق الرصد المساحية بنظام الجي بي أس بطريقة كبيرة بناءا علي عدة عوامل مثل عدد أجهزة الاستقبال المتوفرة و الدقة المطلوبة أو طبيعة المشروع. يجب علي مستخدم الجي بي أس أن يلم بمميزات و عيوب كل طريقة قبل أن يقرر الطريقة التي يتبعها في مشروع معين.

تعتمد الطرق المساحية لتجميع أرصاد الجي بي أس علي أسلوب الرصد النسبي أو الرصد التفاضلي Relative or Differential حيث يكون هناك جهازي استقبال (شكل ١٥-١٧) أحدهما يسمي القاعدة Base Receiver أو الجهاز المرجعي Reference Receiver موجودا علي نقطة مساحية معلومة الإحداثيات ، بينما الجهاز الثاني يسمي المتحرك Rover Receiver وهو الذي يتولي رصد النقاط المطلوب تحديد موقعها ، ويقوم كلا الجهازين برصد الأقمار الصناعية آنيا simultaneously في نفسي الوقت. يقوم الجهاز الثابت أو القاعدة بتحديد قيمة الخطأ في إشارات الأقمار الصناعية في كل لحظة وذلك عن طريق مقارنة الإحداثيات المعلومة لهذه النقطة مع إحداثياتها المحسوبة من أرصاد الجي بي أس. بافتراض أن المسافة بين جهاز القاعدة و الجهاز المتحرك ليست كبيرة فيمكن اعتماد مبدأ أن تأثير أخطاء الرصد عند النقطة المتحركة تساوي تقريبا نفس التأثير عند النقطة القاعدة ، ومن ثم يمكن أيضا تصحيح إحداثيات النقاط التي يرصدها الجهاز الآخر أو الجهاز المتحرك ، عن طريق نقل هذه التصحيحات من الجهاز الثابت إلي الجهاز المتحرك. قد تتم عملية نقل التصحيحات في المكتب بعد انتهاء تجميع البيانات الحقلية (نسميها المعالجة اللاحقة Post-Processing) أو تتم لحظيا في الموقع (نسميها التصحيح اللحظي Real-Time). وتجدر الإشارة إلي أن الحل الناتج من هذه الطرق يكون حلا نسبيا - أي فرق الإحداثيات - بين النقطة المعلومة و النقطة المجهولة ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) والذي سيضاف إلي إحداثيات النقطة المعلومة ليمكننا حساب إحداثيات النقطة المجهولة.



شكل (١٥-١٧) مبدأ الرصد النسبي لأرصاد الجي بي أس

بصفة عامة يمكن تقسيم طرق الرصد إلي مجموعتين رئيسيتين (شكل ١٥-١٨): الطرق الثابتة Static – ومنها الطريقة التقليدية و الطريقة السريعة – والطرق المتحركة Kinematic ومنها طرق تعتمد علي الحساب اللاحق و أخري تعتمد علي استقبال تصحيحات بهدف إكمال عملية حساب الإحداثيات في الموقع مباشرة. وتجدر الإشارة إلي أن الطريقة الثابتة التقليدية هي الأنسب لمشروعات المساحة الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية (مثل إنشاء شبكات الثوابت الأرضية) بينما باقي الطرق تكون مناسبة للأعمال المساحية والرفع المساحي.



شكل (١٥-١٨) طرق رصد الجي بي أس

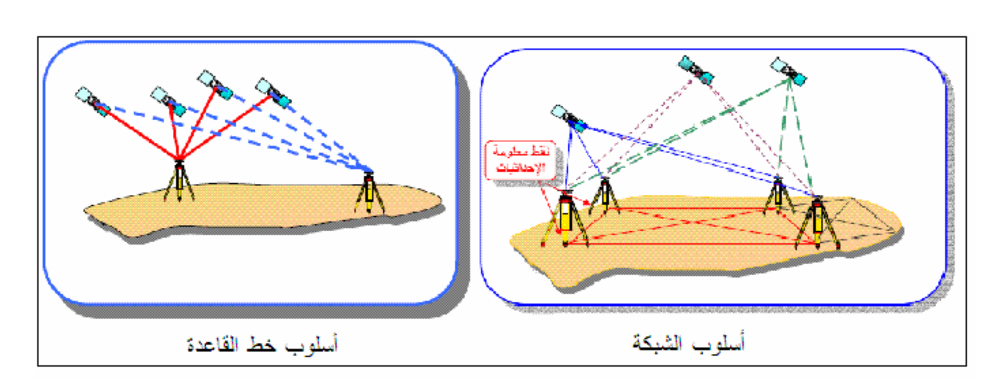
طرق الرصد الثابتة Static:

تعد طرق الرصد الثابتة أنسب طرق رصد الجي بي أس للتطبيقات المساحية و الجيوديسية التي تتطلب دقة عالية (تصل إلي مستوي الملليمتر) في تحديد المواقع. الطريقة الثابتة التقليدية هي أقدم – و أدق أيضا - طرق رصد الجي بي أس بينما ظهرت بعدها طريقة أخري (أو تعديل لها) سميت بالرصد الثابت السريع.

طريقة الرصد الثابت التقليدي Static:

في هذه الطريقة يحتل الجهاز الثابت نقطة معلومة الإحداثيات بينما يقوم الجهاز الآخر (أو عدد من الأجهزة) باحتلال النقطة (أو النقاط) المجهولة المطلوب تحديد مواقعها ، وفي نفس الوقت تبدأ كل الأجهزة في استقبال إشارات الأقمار الصناعية. الأجهزة الجيوديسية ثنائية التردد Dual-Frequency Geodetic Receivers هي الأجهزة المستخدمة في هذه الطريقة حتى يمكن الوصول لمستوي الدقة المطلوبة ، وان كان يمكن استخدام الأجهزة أحادية التردد Single-Frequency Receivers للمسافات الصغيرة التي لا تتجاوز ٢٠ كيلومتر. تتراوح فترة الرصد المشترك session التي تعمل خلالها أجهزة الاستقبال بين ٣٠ دقيقة و عدة ساعات طبقا لطول المسافات بين الجهاز الثابت و الأجهزة الأخرى (ما يطلق عليه خط القاعدة أو خطوط القواعد Base Line). تقوم أجهزة الاستقبال بتجميع الأرصاد بمعدل (Sample Rate) رصده كل ١٥-٢٠ ثانية.

توجد عدة أساليب لتجميع البيانات تعتمد علي عدد أجهزة الاستقبال المتوفرة. أذا لم يتوفر إلا جهازين استقبال فقط فيتم العمل بأسلوب خط القاعدة Base Line حيث يوضع الجهاز الثابت أعلي النقطة المعلومة و الجهاز الآخر أعلي أولي النقاط المجهولة لفترة زمنية معينة ، ثم ينتقل لرصد النقطة المجهولة الثانية ثم الثالثة و هكذا. بينما في حالة توافر أكثر من جهازين فأن أسلوب العمل يتم بطريقة الشبكة Network حيث جهاز (أو أثنين أحيانا) فوق النقطة (أو النقطتين) المعلومتين بينما توضع باقي الأجهزة علي النقاط المجهولة (شكل ١٥-١٩).



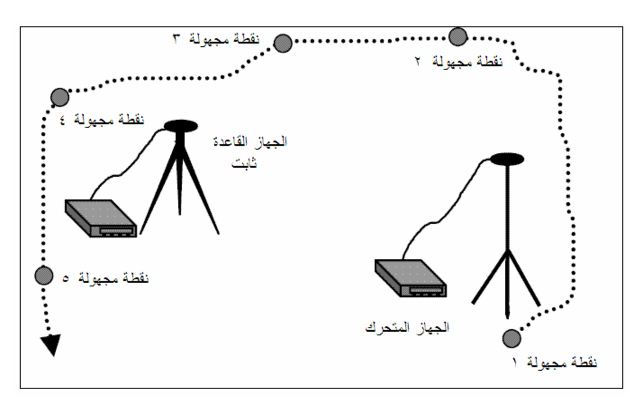
شكل (١٥-١٩) أساليب الرصد الثابت التقليدي

بعد انتهاء تجميع الأرصاد الحقلية يتم نقل البيانات (من جميع الأجهزة) إلي الحاسب الآلي حيث تتولي برامج متخصصة GPS Data Processing Software تنفيذ عمليات الحساب و الضبط للوصول إلي قيم دقيقة لإحداثيات النقاط المجهولة. الدقة المتوقعة لطريقة الرصد الثابت التقليدية تكون ٥ ملليمتر ± ١ جزء من المليون (ppm) أي ٥ ملليمتر + ملليمتر لكل واحد كيلومتر من طول خط القاعدة. كمثال: لخط قاعدة طوله ٢٠ كيلومتر ، فأن الدقة المتوقعة = ٥ + ٢٠ = ± ٢٥ ملليمتر. تجدر الإشارة إلي أنه يمكن الوصول لدقة أحسن من هذا المستوي العام باستخدام أجهزة جيوديسية حديثة وأيضا باستخدام مدارات أكثر دقة للأقمار الصناعية.

طريقة الرصد الثابت السريع Rapid Static:

في حالة وقوع النقاط المجهولة (المطلوب تحديد إحداثياتها) في نطاق مسافة قصيرة – في حدود ١٠-١٥ كيلومتر - من موقع النقطة المعلومة أو المرجعية فيمكن للجهاز المتحرك أن يرصد

نقطة مجهولة لمدة زمنية بسيطة ، ثم ينتقل لرصد نقطة مجهولة ثانية و ثالثة و هكذا. يكون الجهاز القاعدة أو الجهاز المرجعي مستمرا في تجميع الأرصاد طوال فترات الرصد كلها لتتوفر أرصاد مشتركة مع الجهاز المتحرك عند كل نقطة مجهولة يقوم برصدها. لذلك سميت هذه الطريقة بالرصد الثابت السريع Fast or Rapid Static (شكل ١٥-٢٠). تتراوح فترة الرصد session عند كل نقطة مجهولة بين ٢ و ١٠ دقائق ، وبمعدل رصد sample rate كل ١٥-٢٠ ثانية مثل الطريقة الثابتة التقليدية. وأيضا يتم نقل الأرصاد من كلا الجهازين إلي الحاسب الآلي لإجراء عمليات الحسابات و استنتاج إحداثيات النقاط المجهولة التي تم رصدها.



شكل (١٥-٢٠) طرق الرصد الثابت السريع

تتميز طريقة الرصد الثابت السريع أنها تقلل بدرجة كبيرة من الوقت اللازم لتجميع البيانات الحقلية ، مما يجعلها مناسبة للأعمال المساحية التفصيلية و الطبوغرافية في منطقة صغيرة. لكن وعلي الجانب الآخر فأن الدقة المتوقعة لهذه الطريقة (١٠ ملليمتر ± ١ ppm) لا تصل لنفس مستوي دقة طريقة الرصد الثابت التقليدية مما يجعلها غير مطبقة في الأعمال الجيوديسية الدقيقة.

طرق الرصد المتحركة Kinematic:

تعتمد فكرة الرصد المتحرك علي وجود جهاز ثابت مرجعي Base علي النقطة المعلومة بينما يتحرك الجهاز الآخر Rover (أو الأجهزة) لرصد عدد من النقاط المجهولة. تختلف طرق الرصد المتحرك بناءا علي عاملين: أسلوب حركة الجهاز الثاني ، طريقة نقل التصحيحات من الجهاز الثابت لباقي الأجهزة.

طرق الرصد المتحرك والحساب لاحقا:

في هذه النوعية من أساليب الرصد المتحرك يتم الاعتماد علي أن التصحيحات - التي يقوم بحسابها الجهاز المثبت فوق النقطة المعلومة – سيتم نقلها إلي أرصاد الأجهزة المتحركة عن طريق برنامج الحساب software في الحاسب الآلي بعد انتهاء الأعمال الحقلية. أي أن حساب إحداثيات النقاط المرصودة سيكون في المكتب أو Post-Processing وليس في الحقل(تسمي هذه الطرق PPK اختصارا لكلمات Post-Processing Kinematic).

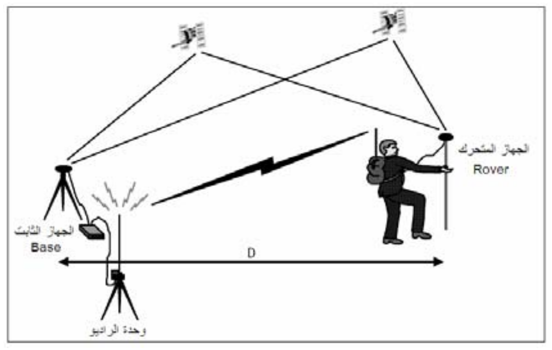
من طرق الرصد المتحرك هي ما تعرف باسم طريقة الرصد شبه المتحرك Pseudo-Kinematic والبعض يسميها طريقة الرصد المتحرك Kinematic مباشرة. وأهم مميزاتها أنها لا تتطلب الوقوف عند كل نقطة مجهولة ، إنما تكتفي برصدها حتى ولو ثانية واحدة. أيضا

لا تتطلب طريقة الرصد شبه المتحرك إجراء عملية الإعداد لأنها تطبق مبدأ رياضي حديث يسمح بحساب قيمة الغموض أثناء بدء حركة الجهاز Rover من نقطة لآخري (يسمي الحل الطائر On-The-Fly أو اختصارا OFT). أيضا في هذه الطريقة يتم ضبط جهاز الاستقبال بحيث يسجل الأرصاد آليا كل فترة زمنية معينة (مثلا كل ثانية) ولا توجد حاجة للمستخدم لإعطاء أمر الرصد في جهاز الاستقبال عند كل نقطة مجهولة كما في طريقة الذهاب و التوقف. كل هذه المميزات جعلت طريقة الرصد شبه المتحرك أكثر جاذبية وأسهل و أرخص لتطبيقات الرفع المساحي.

<u>طرق الرصد المتحرك مع الحساب اللحظي:</u>

كانت الطرق التقليدية للرصد المتحرك تعتمد علي فكرة تجميع الأرصاد في الموقع ثم إجراء الحسابات علي الحاسب الآلي في المكتب. لكن وجد مهندسو المساحة أن هناك حالات معينة – مثل توقيع نقاط معلومة الإحداثيات علي أرض الواقع Stack Out – تحتاج حساب قيم إحداثيات النقط المرصودة في نفس لحظة الرصد. من هنا بدأ التفكير في تطوير طرق رصد متحركة جديدة. تعتمد هذه الطرق علي وجود جهاز راديو عند النقطة الثابت يقوم بإرسال أو بث التصحيحات التي يقوم الجهاز المرجعي بحسابها إلي الجهاز (أو الأجهزة) المتحرك والذي بدورها يكون متصل بجهاز راديو لاسلكي آخر (شكل ١٥-٢١). أي أن الجهاز المتحرك سيتكون من وحدتين: وحدة استقبال إشارات الأقمار الصناعية ، بالإضافة إلي وحدة استقبال لا سلكية لاستقبال التصحيحات المرسلة من الجهاز الثابت. من أرصاد الأقمار الصناعية يقوم الجهاز المتحرك بحساب إحداثيات النقطة المرصودة (لكنها إحداثيات غير دقيقة تماما) ومن تصحيحات الجهاز المرجعي يقوم الجهاز المتحرك بتصحيح الإحداثيات للوصول إلي قيم دقيقة في نفس اللحظة ، ولذلك فتسمي هذه الطرق بطرق الرصد المتحرك الآني Real-Time.

بناء علي نوع التصحيحات التي يحسبها الجهاز الثابت فتوجد طريقتين من طرق الرصد المتحرك مع الحساب اللحظي. إذا كانت التصحيحات خاصة بأرصاد الشفرة code فأن الطريقة تسمي الجي بي أس التفاضلي Differential GPS أو اختصارا DGPS. بينما إن كان الجهاز الثابت يقوم بحساب و تصحيح أرصاد طور الموجة Carrier Phase فأن الطريقة تسمي الرصد المتحرك اللحظي Real-Time Kinematic أو اختصارا RTK. وكما سبق الإشارة فأن أرصاد طور الموجة تكون أكثر دقة من أرصاد الشفرة مما يؤدي إلي أن دقة طريقة الجي بي أس التفاضلي DGPS تكون عدة ديسيمترات أو ما هو أقل من المتر، بينما تصل دقة طريقة الرصد المتحرك اللحظي RTK إلي ٢-٥ سنتيمتر. ولذلك فأن طرق الرصد التفاضلي تستخدم في التطبيقات الملاحية و نظم المعلومات الجغرافية بينما طريقة الرصد المتحرك اللحظي هي المطبقة في الأعمال المساحية.



شكل (١٥-٢١) طريقة الرصد المتحرك اللحظي

١٥-٧ العمل المساحي بالجي بي أس

تتعدد أساليب تنفيذ الأعمال المساحية و الجيوديسية باستخدام الجي بي أس بصورة كبيرة بتعدد طرق الرصد و أنواع الأجهزة و برامج الحسابات ، مما يصعب معه إعداد تصور كامل و دقيق لخطوات تنفيذ أي مشروع مساحي بالجي بي أس. علي الجانب الآخر فهناك خطوط عريضة يتم تطبيقها – بصورة أو بآخري – في أي عمل مساحي بالجي بي أس بهدف التأكد من جودة خطوات العمل المكتبي و الحقلي لضمان الوصول للدقة العالية المنشودة في تحديد المواقع وإنشاء الخرائط ، وهذا هو موضوع هذا الفصل.

التخطيط و التصميم:

إن تخطيط ما قبل العمل الحقلي Pre-Planning واختيار مواقع النقاط واختيار الأجهزة المستخدمة و تصميم طريقة واليات الرصد لهو من العوامل الهامة التي تؤثر لاحقا علي الدقة المستهدف الوصول إليها و أيضا تؤثر علي تكلفة المشروع بصفة عامة.

قبل البدء في مشروع الجي بي أس يجب أولا تحديد عدة عوامل تشمل:

- طبيعة المشروع و أهدافه.
- الدقة المطلوب تحقيقها أفقيا و رأسيا.
- عدد نقاط التحكم الأفقية و الرأسية المطلوب رصدها.
- المرجع الجيوديسي الذي ستنسب إليه الأرصاد.
- الأجهزة المتاحة و عددها و مواصفاتها.
- أنسب فترات الرصد الحقلي.

أهداف المشروع و الدقة المطلوبة:

تختلف عوامل التخطيط و التصميم باختلاف طبيعة المشروع ذاته (إنشاء شبكات ثوابت أرضية لمنطقة صغيرة أم لمنطقة شاسعة ، الرفع التفصيلي أو الطبوغرافي بهدف إنشاء الخرائط ، تجميع بيانات مكانية لنظم المعلومات الجغرافية .... الخ). لكل مشروع مواصفات (وخاصة في تحديد الدقة المطلوبة) تختلف باختلاف طبيعة المشروع والهدف منه. كمثال يعرض الجدول التالي مواصفات الدقة المطلوبة في مشروعات أو تطبيقات مختلفة باستخدام الجي بي أس.

الدقة المطلوبة لبعض التطبيقات المساحية للجي بي أس

التطبيق	الدقة النسبية المطلوبة	الدقة المتوقعة (متر)
الاستكشاف و نظم المعلومات الجغرافية	١×١٠-٤	من ١ إلي ٥
الخرائط الطبوغرافية صغيرة المقياس و أنظمة مراقبة المركبات	١×١٠-٥	من ٠.٢ إلي ١
الرفع المساحي متوسط الدقة والمسح العقاري	من ٥ إلي ١×١٠-٦	من ٠.٠١ إلي ٠.٢
الجيوديسيا وشبكات الثوابت الأرضية والرفع المساحي عالي الدقة	من ٥×١٠-٧ إلي ١×١٠-٦	أقل من ٠.٠١ إلي ٠.٠٥
الجيوديسيا الديناميكية (مراقبة تحركات القشرة الأرضية مثلا) والعمل المساحي بدقة عالية جدا	١×١٠-٧	من ٠.٠٠١ إلي ٠.٠٢

اختيار أجهزة الاستقبال وبرامج الحساب:

إن اختيار الأجهزة المتاحة للرصد (عددها و نوعها) أيضا من أهم العوامل المؤثرة علي جودة المنتج النهائي لمشروعات الجي بي أس. فكمثال توجد بعض أجهزة الاستقبال المخصصة لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية من الممكن أن توفر الدقة المطلوبة لمثل هذه النوعية من التطبيقات (٠.٥ – ٣ متر) لكنها بالطبع لن تكون مناسبة لأعمال الرفع المساحي. أما مواصفات أجهزة الجي بي أس الجيوديسية فتختلف أيضا من شركة لأخرى ويجب اختيار الجهاز الذي يوفر الحد الأدنى من المواصفات التالية:

- أجهزة جيوديسية النوع Geodetic GPS Receivers ذات دقة عالية.
- أجهزة ثنائية التردد (تستقبل كلا ترددي الجي بي أس L1, L2).
- تستقبل كلا من الشفرة و الموجة الحاملة.
- تعمل في الوضع الثابت التقليدي.
- تعمل أيضا في الوضع التفاضلي (أي تستقبل التصحيحات من مصدر خارجي).
- متعددة القنوات بحد أدني ٢٤ قناة.
- ذاكرة داخلية أو خارجية تسمح بتخزين القياسات لمدة لا تقل عن ٨ ساعات رصد متواصلة.
- مصدر طاقة داخلي أو خارجي يسمح بتوفير الطاقة اللازمة للجهاز لمدة لا تقل عن ٨ ساعات رصد متواصلة.
- الهوائي مقاوم لتأثير تعدد المسار Multipath بدرجة جيدة.
- دقة عالية في تحديد مركز – أو نقطة – التقاط الموجات Phase Center في الهوائي.
- هوائي حساس بدرجة عالية ، و سهل الضبط و التسامت أعلي النقطة الأرضية المرصودة.

أما الأجهزة أحادية التردد (L1) – غالبا توفر دقة سنتيمترات في تحديد المواقع - فيمكن استخدامها في أعمال الرفع المساحي و الطبوغرافي بصفة عامة ولكنها لا تفضل في التطبيقات الجيوديسية مثل إنشاء شبكة الثوابت الأرضية.

اختيار برامج حسابات الأرصاد و برامج الضبط يعد أيضا مؤثر في جودة النتائج المتوقع الحصول عليها. يشترط أن يقدم برنامج الحساب – علي الأقل - الوظائف التالية:

أ- تخطيط ما قبل الرصد.
ب- معالجة القياسات و تنقيحها.
ت- التعامل مع مختلف طرق الرصد (الثابت ، المتحرك ، .... الخ).
ث- التشغيل الآلي للبيانات Auto-processing mode مع إعطاء المستخدم إمكانية تغيير معاملات الحساب إن أراد.
ج- التعامل مع المدارات الدقيقة للأقمار الصناعية Precise ephemeredes وأيضا التصحيحات الدقيقة لخطأ ساعات الأقمار الصناعية Precise satellite clocks.
ح- ضبط الأرصاد لكل فترة رصد session.
خ- ضبط الشبكة بالكامل (سواء الضبط المقيد أو غير المقيد).
د- التحليل الإحصائي للنتائج.
ذ- تحويل الإحداثيات بين المراجع الجيوديسية المختلفة.
ر- إسقاط الإحداثيات بمختلف نظم إسقاط الخرائط.

ز- توفير الرسوم البيانية لصحة النتائج و الضبط.
س- سهولة الاستخدام.

في حالة الاعتماد علي الرصد المتحرك اللحظي RTK أو الجي بي أس التفاضل DGPS فأن مواصفات وحدة الاستقبال اللاسلكي يجب أيضا أن توضع في الاعتبار. فقدرة ومدي الجهاز في بث التصحيحات تؤثر علي اختيار مواقع و أيضا عدد النقاط الثابتة التي ستستخدم في تنفيذ الرصد الحقلي. بعض أجهزة الراديو اللاسلكية توفر مدي ٣-٥ كيلومترات (أي ستتطلب إنشاء عدد أكبر من نقاط الثوابت في منطقة العمل) بينما البعض الآخر قد يصل مداه إلي ٣٠ كيلومتر.

تصميم خطة الرصد:

من العوامل المؤثرة علي الزمن المستغرق للعمل الحقلي وضع خطة جيدة لتنقل أجهزة الرصد بين النقاط. مع توافر أجهزة الاتصالات التليفونية المحمولة فقد أصبح تنظيم العمل الحقلي أكثر سهولة و كفاءة ، إلا أن بعض المشروعات من الممكن أن تتم في مناطق خارج حدود تغطية مثل هذه الشبكات الخلوية. وفي هذه الحالات فيجب إعداد تصور كامل وتفصيلي عن كيفية تنظيم مواعيد فترات الرصد sessions وكيفية تنظيم تنقل الأجهزة بين النقاط المختلفة.

تحديد مواقع (ومعرفة إحداثيات) نقاط التحكم المتوفرة في منطقة العمل – أو بالقرب منها – من العوامل الهامة أيضا في التخطيط ما قبل العمل الحقلي. كما هو معروف أن أرصاد الجي بي أس في الوضع النسبي Relative Positioning (وهو المطبق في الأعمال المساحية وليس الملاحية) تعطي فروق الإحداثيات بين كل نقطتين مرصودتين ، و لحساب الإحداثيات المطلقة لكل نقطة فيجب ربط الشبكة بنقطة واحدة – علي الأقل – من نقاط التحكم Control Points المعلومة الإحداثيات. يتطلب التخطيط و التصميم لمشروع الجي بي أس معرفة مواقع نقاط التحكم المتوفرة وأيضا الحصول علي إحداثيات هذه النقاط التي ستستخدم لاحقا في مرحلة الحسابات و ضبط الشبكات. ومع أن أقل عدد لنقاط التحكم المطلوبة هو نقطة واحدة فقط إلا أنه يفضل وجود أكثر من نقطة تحكم يتم رصدهم مع الشبكة الجديدة للحصول علي ربط جيد للعمل المساحي المستهدف مع المرجع الجيوديسي ونظام الإحداثيات الوطني للدولة. في التطبيقات الجيوديسية – مثل إنشاء شبكات ثوابت أرضية – يشترط وجود أكثر من نقطة تحكم يتم استخدامهم في أثناء العمل الحقلي. أما في حالة عدم توافر أية نقاط تحكم علي الإطلاق فيوجد طرق حديثة لربط الشبكة منها: (١) حساب الوضع المطلق الدقيق Precise Point Positioning or PPP لأحدي النقاط الجديدة بالشبكة ويكون ناتجا من رصدها لفترة زمنية طويلة أو (٢) استخدام الشبكة العالمية IGS.

تصميم الربط علي شبكات التحكم:

توافر عدد من نقاط التحكم الرأسية المعلومة المنسوب Vertical Control Points مهم أيضا عند تحويل الارتفاعات الناتجة من أرصاد الجي بي أس (ارتفاعات جيوديسية) إلي مناسيب مقاسة من متوسط سطح البحر MSL. لذلك لا بد من وجود نقطة تحكم رأسية واحدة علي الأقل يتم رصدها في احدي فترات رصد مشروع الجي بي أس الجديد. لكن في معظم التطبيقات المساحية فمن الأفضل توافر أكثر من نقطة - من هذه النوعية – في منطقة العمل لاستخدامهم لاحقا للحصول علي دقة جيدة في عملية تحويل الارتفاعات واستنباط قيم المناسيب.

اختيار المرجع الجيوديسي المطلوب:
تحديد المرجع الجيوديسي Datum الذي سيعتمد عليه المشروع يعد من العوامل الهامة جدا في التخطيط ، هل المطلوب اعتماد المرجع العالمي WGS84 في حساب إحداثيات النقاط المرصودة و إنشاء الخرائط الجديدة للمشروع أم يجب تحويل الإحداثيات لمرجع جيوديسي محلي. فان كانت عملية التحويل Datum Transformation مطلوبة فيجب تحديد طريقة تنفيذها: (١) بمعرفة عناصر تحويل معلومة Transformation Parameters ، (٢) بحساب عناصر التحويل. فان كانت عناصر التحويل معلومة فيجب الحصول علي قيمها من الجهة المسئولة عن حسابها. أما في حالة عدم وجود عناصر تحويل فيجب رصد ٣ نقاط تحكم (معلومة الإحداثيات في المرجع المحلي) مع شبكة الثوابت الجديدة المزمع إقامتها للمشروع واستخدام أحد برامج الحساب لتقدير عناصر التحويل بين المراجع في منطقة العمل.

اختيار أنسب أوقات الرصد:
اختيار أنسب وقت للرصد في الجي بي أس يعد أيضا من خطوات التصميم و التخطيط. فمع أن أشارات الأقمار الصناعية في الجي بي أس متاحة ٢٤ ساعة يوميا ، ألا أن دقة و جودة وعدد الأقمار الصناعية يختلف من موقع جغرافي لآخر و من ساعة لآخري في نفس اليوم. يعد معامل دقة الموقع PDOP العامل الأساسي الذي يصف العلاقة بين توزيع الأقمار الصناعية في زمن معين و بين الدقة المتوقعة للرصد في هذا الوقت. ويمكن معرفة قيم PDOP لأي مكان و في أي وقت باستخدام البرامج المتخصصة (أي قبل تنفيذ العمل الحقلي ذاته). لذلك لا بد من استخدام أحد هذه البرامج لحساب معامل الدقة في الأيام المحددة للرصد الحقلي ، ومن ثم اختيار أنسب أوقات أو ساعات اليوم التي يكون فيها معامل PDOP أقل من ٦ ضمانا للوصول لأدق تحديد للمواقع المرصودة. أما للرصد المتحرك اللحظي فأن PDOP أقل من ٣ يعتبر جيدا ، ومن ٣ إلي ٦ يعتبر مقبولا بينما ما هو أكبر من ٦ يعتبر ضعيفا. أما قيمة زاوية القناع Mask or Cut-Off Angle فيجب ألا تقل عن ١٥° في معظم التطبيقات المساحية و الجيوديسية.

اختيار أنسب طريقة للرصد:
يتم اختيار طريقة الرصد بعد وضع الخطوط العريضة لأهداف المشروع و مستوي الدقة المطلوب الوصول إليه ، حيث تتم المفاضلة بين جميع طرق الجي بي أس وخاصة من وجهة نظر تقنية و اقتصادية في نفس الوقت. فإذا كان المشروع – مثلا – بهدف استكشاف عام لمنطقة أو تطوير نظم معلومات جغرافية لأماكن الخدمات الموجودة في مدينة أو تحديث الخرائط صغيرة المقياس فيمكن الاكتفاء باستخدام أجهزة الاستقبال الملاحية أو المحمولة يدويا (أجهزة أرصاد الشفرة) والتي توفر دقة في حدود ± ٤-٨ متر وبمتوسط ± ٥ متر حيث تكون هذه الدقة مناسبة لمثل هذه التطبيقات و أيضا غير مكلفة ماديا. أما في حالة تطوير نظم معلومات جغرافية لمساحة صغيرة (حي مثلا) أو لأعمال المساحة الهيدروجرافية أو لمراقبة النحر في الشواطئ فأن الدقة المطلوبة ستكون في حدود ± ١ متر أو أقل مما يجعل طريقة الجي بي أس التفاضلي DGPS هي الأنسب وخاصة في حالة توافر مصدر لتصحيحات الأرصاد سواء من جهات توفر هذه الخدمة أو استخدام جهاز مرجعي لحساب تصحيحات الشفرة و نقلها للأجهزة المتحركة سواء لحظيا أو باستخدام التصحيح المكتبي. تعد أجهزة الرصد (النسبي وليس المطلق) المخصصة لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية بديلا مناسبا لمثل هذه التطبيقات (حيث أنها أرخص سعرا من الأجهزة الجيوديسية و أسهل أيضا في التعامل معها). أما من حيث المفاضلة بين هذه الطرق لتنفيذ التصحيح و الحسابات في الموقع مباشرة RTK أم في المكتب بعد انتهاء العمل الحقلي PPK، ففي حالة توقيع نقاط معلومة الإحداثيات فأن طريقة RTK هي البديل الوحيد لان التوقيع اللحظي يتطلب التصحيح اللحظي لأرصاد

الجي بي أس ، أما في حالة الرفع المساحي فأن طريقة PPK من الممكن أن تكون هي الأفضل حيث أنها تتيح للمستخدم التحقق من الأرصاد و استبعاد الغير دقيق منها قبل إجراء حسابات تحديد الإحداثيات النهائية للنقاط المرصودة وذلك من خلال البرامج المكتبية المتخصصة بعد انتهاء العمل الميداني ، وان كان البعض يستعمل طريقة RTK في الرفع المساحي لأنها أسرع ولا تحتاج لأية أعمال مكتبية. أما لتطبيقات المساحة الجيوديسية و المساحة الأرضية عالية الدقة فلا يوجد بديل عن طرق الرصد الثابت.

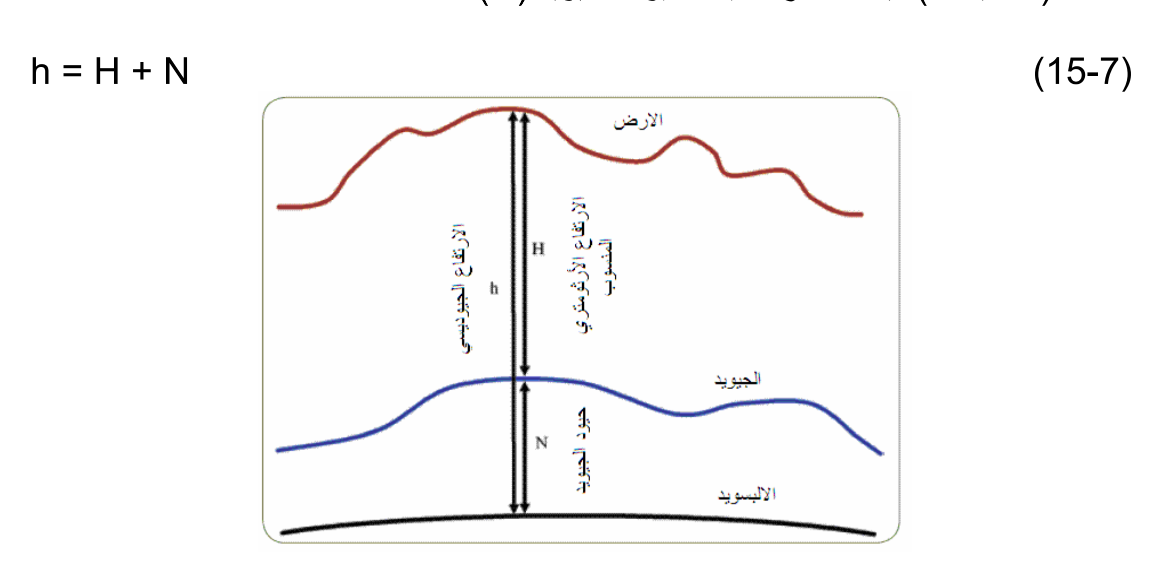
المتطلبات الأخرى:

أيضا تجهيز المتطلبات اللوجستية اللازمة يعد من مكونات التخطيط للمشروع لأنه يؤثر علي الوقت المستغرق لتنفيذ العمل الحقلي. يجب عمل حصر بالمتطلبات (عدد و مواصفات السيارات المناسبة لمنطقة العمل ، عدد أفراد الفريق الحقلي وخبراتهم ، مدي توافر مصدر طاقة دائم لشحن بطاريات أجهزة الرصد ، إمكانيات الاتصالات التليفونية أو اللاسلكية في منطقة العمل ، إمكانيات إقامة مخيم لأفراد الفريق الحقلي .... الخ) وإعدادها قبل بدء العمل الميداني.

١٥-٨ الجي بي أس و الجيويد

تعتمد أرصاد الجي بي أس وأيضا الإحداثيات الناتجة عن هذه التقنية علي المجسم أو الاليبسويد العالمي WGS84 ، أي أن الارتفاع الناتج من الجي بي أس يكون مقاسا من سطح هذا الاليبسويد ولذلك يسمي الارتفاع الاليبسويدي Ellipsoidal Height أو الارتفاع الجيوديسي Geodetic Height . بينما في التطبيقات المساحية و الخرائطية فأن الارتفاع المستخدم – أي المنسوب – يكون مقاسا من منسوب متوسط سطح البحر MSL أو الذي يمثل شكل الجيويد ، ويسمي الارتفاع الأرثومتري Orthometric Height. والفرق بين سطح الاليبسويد و سطح الجيويد يسمي حيود الجيويد Geoid Undulation أو ارتفاع الجيويد Geoidal Height (شكل ١٥-٢٢) ، وهو فرق مؤثر لا يمكن إهماله حيث قد تصل قيمته إلي ١٠٠ متر في بعض المناطق علي الأرض. كمثال في مصر يتراوح حيود الجيويد بين حوالي ٩ متر عند الحدود المصرية السودانية في الجنوب و حوالي ٢٢ متر عند البحر الأبيض المتوسط في الشمال. ولكي يتم تحويل الارتفاع الجيوديسي لنقطة ما (لنرمز له بالرمز h) إلي منسوبها المقابل (لنسميه H) فيجب معرفة قيمة حيود الجيويد (N) عند هذه النقطة طبقا للمعادلة:

$$h = H + N \qquad (15\text{-}7)$$



شكل (١٥-٢٢) العلاقة بين أنواع الارتفاعات

لذلك فمن المهم عند استخدام نظام الجي بي أس في المشروعات المساحية أن نحصل علي نموذج للجيويد حتى يمكن تحويل ارتفاعات الجي بي أس إلي مناسيب و بدقة تناسب العمل الهندسي. توجد طرق عديدة لحساب قيمة حيود الجيويد – أي نمذجة الجيويد Geoid Modeling - تعتمد علي عدة أنواع من القياسات الجيوديسية مثل: الأرصاد الفلكية ، أرصاد الجاذبية الأرضية ، أرصاد الجي بي أس مع الميزانيات ، طرق التمثيل المتناسق لمجال جهد الأرض باستخدام أرصاد مختلفة النوع Heterogeneous Data.

نمذجة الجيويد من أرصاد الجاذبية الأرضية:

باستخدام أجهزة قياس الجاذبية الأرضية Gravimeters يتم قياس قيمة الجاذبية الأرضية Measured Gravity علي سطح الأرض ، كما يمكن أيضا باستخدام خصائص الاليبسويد حساب قيمة الجاذبية النظرية Theoretical or Normal Gravity علي سطح الاليبسويد. الفرق بين قيمة الجاذبية المقاسة و قيمة الجاذبية النظرية المحسوبة - يسمي شذوذ الجاذبية Gravity Anomalies - يعبر بصورة معينة عن الفرق بين كلا من الاليبسويد و الجيويد.

نمذجة الجيويد من أرصاد الجي بى أس و الميزانيات:

يعد هذا الأسلوب (يسمي الطريقة الهندسية) هو الأمثل للمساحة بالجي بي أس وخاصة للمناطق الصغيرة (منطقة تغطي مساحة من ١٠ إلي ٢٠ كيلومتر مربع). يتم تنفيذ قياسات جي بي أس عند مجموعة من النقاط المعلوم منسوبها (نقاط روبيرات أو BM) ، وبالتالي يمكن حساب قيمة حيود الجيويد عند هذه النقاط باستخدام المعادلة (١٥-٧). في أبسط الصور فيمكن باستخدام نقطة واحدة فقط معرفة الفرق بين سطحي الاليبسويد و الجيويد ، إلا أن رصد جي بي أس عند ٣ روبيرات يعد وضعا أفضل بالتأكيد. وجود ٣ نقاط معلوم لهم كلا من h و H سيمكننا من حساب ٣ معاملات (الميل tilt في اتجاه الشمال ، الميل في اتجاه الشرق ، الفرق المتوسط) لوصف الفروق بين كلا السطحين. أي أن الجيويد يتم تمثيله من خلال سطح أو مستوي مائل tilted plane . وبعد ذلك يمكن استخدام هذا النموذج أو هذا المستوي لكي نحول ارتفاع الجي بي أس لأي نقطة جديدة مرصودة إلي منسوبها. وبالطبع يمكن استخدام أكثر من ٣ نقاط (معلوم عندها h و H) وذلك للحصول علي مصداقية أكثر more reliability لنتائج المستوي المائل حيث أن استخدم ٣ نقاط معلومة فقط يعطي ٣ معادلات مطلوب حلهم في ٣ قيم مجهولة أي – رياضيا و إحصائيا - لا يوجد أي تحقيق check للنتائج ، بينما استخدام أكثر من ٣ نقاط سيعطي عدد معادلات أكبر من عدد المجاهيل مما سينتج عنه وجود تحقيق ومؤشرات إحصائية لجودة النتائج المحسوبة. أيضا يمكن استخدام نماذج رياضية أكثر دقة (من نموذج السطح المائل) مثل دالة ذات الحدود polynomials بفرض وجود عدد أكبر من النقاط المعلومة (معلوم لها h و H).

لكن هذه الطريقة الهندسية لها أيضا بعض العيوب مثل:

- النموذج الرياضي المستنبط يصلح فقط للمنطقة المحصورة بالنقاط المعلومة (محاولة استنباط extrapolation قيمة N خارج المنطقة لن تكون جيدة علي الإطلاق).
- نموذج المستوي المائل – نموذج بسيط رياضيا – ويصلح فقط لمناطق صغيرة (شكل وتغير الجيويد أكثر تعقيدا من محاولة وصفه بسطح مائل).
- عمليا قد يكون من الصعب إيجاد نقاط معلومة المنسوب (روبيرات أو BM) في المنطقة المطلوب العمل فيها.

نماذج الجيويد العالمية:

تعد طرق التمثيل المتناسق لمجال جهد الأرض Spherical harmonic representation of the Earth's geopotential field من الطرق المستخدمة في نمذجة الجيويد علي المستوي العالمي باستخدام أرصاد مختلفة النوع Heterogeneous Data. تقوم الجهات العلمية المتخصصة بتجميع القياسات الجيوديسية (جاذبية أرضية ، جي بي أس ، أرصاد فلكية .. الخ) من كل مناطق العالم وإدخالها في برامج كمبيوتر متخصصة لتطوير نماذج عالمية تصف تغير الجيويد عالميا Global Geoid Models أو اختصارا GGM. بدأ تطوير نماذج الجيويد العالمية منذ عام ١٩٦٠ وإنتاجها مستمر حتى الآن ، ويمكن الحصول مجانا علي أي نموذج جيويد عالمي من موقع المركز الدولي لنماذج الجاذبية الأرضية العالمية International Center of Gravity Earth Models أو اختصارا ICGFM في الرابط: http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/modelstab.html. لكن نظرا لعدم توافر عدد ضخم من القياسات الجيوديسية تغطي كل أنحاء الأرض بانتظام فلم يكن ممكنا تطوير نماذج عالمية ذات تباين أفقي resolution كبير ، فمعظم النماذج حتى عام ٢٠٠٨ لم تزيد درجة تمثيلها degree عن ٣٦٠ بما يدل علي أن النموذج يعطي نقطة كل ١° أو تقريبا ١٠٠ كيلومتر أفقيا علي سطح الأرض. تجدر الإشارة إلي أن معظم برامج حسابات أرصاد الجي بي أس تعتمد في داخلها علي أحد نماذج الجيويد العالمية (والأشهر منهم هو نموذج EGM96) بحيث أن البرنامج يستطيع حساب منسوب نقاط الجي بي أس المرصودة. لكن من المهم جدا علي مستخدم الجي بي أس أن يعرف دقة هذا النموذج العالمي وبالتالي دقة هذا المنسوب المحسوب. فعلي سبيل المثال فأن دقة النموذج العالمي EGM96 في مصر تبلغ ٠.٣٩ متر ، أي أن المنسوب أو الارتفاع الأرثومتري المحسوب من هذا النموذج لن يكون أدق من هذا المستوي. لذلك لا يمكن الاعتماد علي نماذج الجيويد العالمية بمفردها في التطبيقات المساحية و الجيوديسية إنما يتم تطعيمها بقياسات محلية لزيادة دقتها في منطقة العمل.

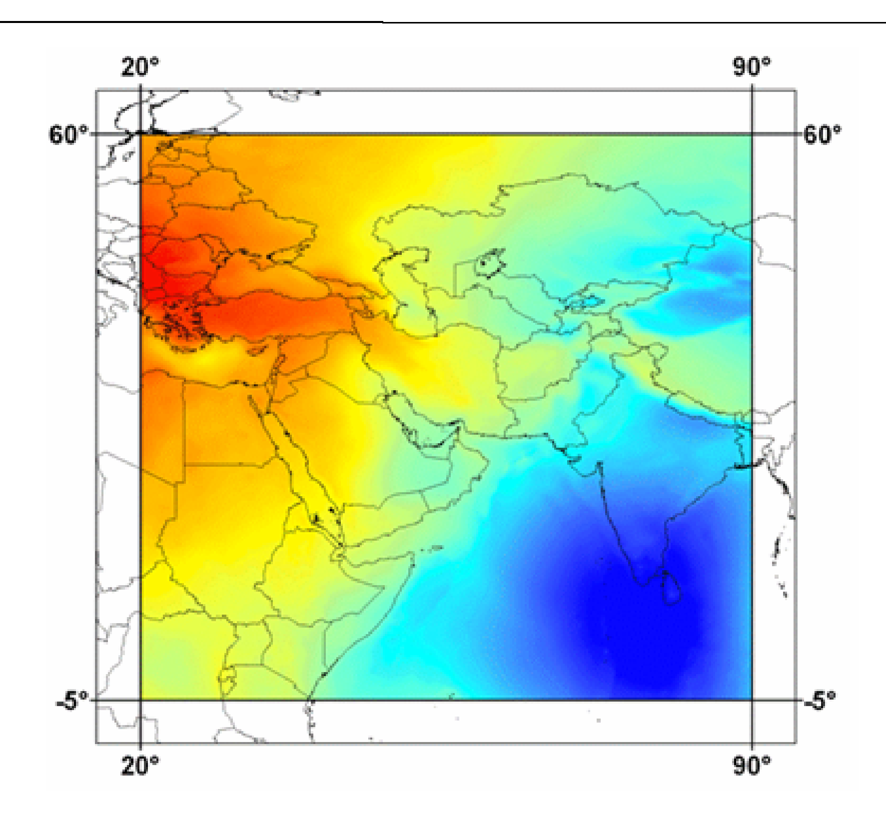
نموذج الجيويد العالمي ٢٠٠٨:

في أبريل ٢٠٠٨ أطلقت هيئة المساحة العسكرية الأمريكية نموذج الجيويد العالمي EGM2008 وأتاحته للجميع مجانا علي شبكة الانترنت. يعد هذا النموذج ثورة علمية في مجال نماذج الجيويد العالمية ، حيث أن درجة النمذجة degree قد بلغت ٢١٦٠ مقارنة بدرجة تساوي ٣٦٠ لجميع نماذج الجيويد العالمية السابقة له. ترجع هذه الدرجة العالية في تمثيل حيود الجيويد إلي قاعدة البيانات الجيوديسية (وخاصة قياسات شذوذ الجاذبية) الضخمة التي استخدمت في تطوير نموذج EGM2008 والتي غطت تقريبا كل سطح الأرض سواء اليابسة أو البحار مما لم يتوافر لأي جهة عالمية قبل ذلك. تدل هذه الدرجة العالية في النمذجة أن التباين الأفقي resolution للنموذج (المسافة بين كل نقطتين يمكن للنموذج حساب قيمة حيود الجيويد عندهما) يبلغ '١٠ أي ما يعادل ١٨ كيلومتر فقط مقارنة بتباين يساوي حوالي ١٠٠ كيلومتر للنماذج السابقة (شكل ١٥-٢٣). نموذج الجيويد العالمي ٢٠٠٨ EGM2008 متاح للجميع علي الانترنت في الرابط:

http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008

كما يوجد وصف تفصيلي لطرق تطويره والبيانات المستخدمة في الرابط:

http://earth-info.nima.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/NPavlis&al_EGU2008.ppt



شكل (١٥-٢٣) حيود الجيويد في منطقة الشرق الأوسط من النموذج العالمي EGM2008

المراجع

(١) المراجع العربية:

(١-١) الكتب المطبوعة:

الازهري ، محمد إيهاب صلاح (٢٠٠٩م) تطبيقات عملية في نظم المعلومات الجغرافية – دار المعرفة للنشر – القاهرة –مصر.
الحسيني ، محمد صفوت (٢٠٠٢م) الجيوديسيا ، القاهرة ، مصر.
الدويكات ، قاسم (٢٠٠٣م) نظم المعلومات الجغرافية: النظرية و التطبيق – جامعة مؤتة – الأردن.
الشافعي ، شريف فتحي (٢٠٠٥م) الاساليب الفنية المتقدمة لإعداد الميزانيات و الخرائط الكنتورية ، دار الكتب العلمية للنشر و التوزيع ، القاهرة ، مصر.
الشافعي ، شريف فتحي (٢٠٠٤م) المساحة التصويرية ، دار الكتب العلمية للنشر و التوزيع ، القاهرة ، مصر.
الشريعي ، أحمد البدوي محمد ، الخرائط الجغرافية: تصميم وقراءه وتفسير(٢٠٠٧م) دار الفكر العربي، القاهرة، مصر.
القرني ، محمد عبد الله محمد (٢٠٠٦م) نظم المعلومات الجغرافية: المبادئ الأساسية و المفاهيم التشغيلية – جامعة الملك سعود – الرياض، المملكة العربية السعودية.
الربيش ، محمد بن حجيلان (٢٠٠٢م) النظام الكوني لتحديد المواقع – الرياض، المملكة العربية السعودية.
الرجال ، محمد عبد الرحيم (٢٠٠٨م) نظم المعلومات الجغرافية Arc GIS 9 – دار المعرفة للنشر – القاهرة – مصر.
الزيدي ، نجيب عبد الرحمن (٢٠٠٧م) نظم المعلومات الجغرافية ، دار اليازوري العلمية للنشر و التوزيع ، عمان ، الأردن.
العيسي ، سميح يوسف (٢٠٠٦م) مبادئ عمل منظومة التوضع الجي بي إس – شعاع للنشر – حلب – سوريه.
الغامدي ، سعد أبو راس (٢٠٠٨م) التصوير الجوي: أسس و تطبيقات ، مكتبة الرشد ، مكة المكرمة ، المملكة العربية السعودية.
شكري ، علي سالم و عبد الرحيم ، محمود حسني و مصطفي ، محمد رشاد الدين (١٩٩٤م) المساحة المستوية: الميزانيات و الكميات ، منشأه المعارف ، الاسكندرية ، مصر.
شكري ، علي سالم و عبد الرحيم ، محمود حسني و مصطفي ، محمد رشاد الدين (١٩٩٤م) المساحة المستوية: طرق الرفع و التوقيع ، منشأه المعارف ، الاسكندرية ، مصر.
شكري ، علي سالم و عبد الرحيم ، محمود حسني و مصطفي ، محمد رشاد الدين (١٩٩٤م) المساحة الطبوغرافية و تطبيقاتها في الهندسة المدنية ، منشأه المعارف ، الاسكندرية ، مصر.
شكري ، علي سالم و عبد الرحيم ، محمود حسني و مصطفي ، محمد رشاد الدين (١٩٨٩م) المساحة الجيوديسية ، منشأه المعارف ، الاسكندرية ، مصر.
شكري ، علي سالم و عبد الرحيم ، محمود حسني و مصطفي ، محمد رشاد الدين (١٩٩٨م) المساحة التصويرية و القياس الالكتروني و نظرية الاخطاء ، منشأه المعارف ، الاسكندرية ، مصر.
صيام ، يوسف (٢٠٠٢م) المساحة: أنظمة الاحداثيات و قراءة الخرائط ، عمان ، الاردن.
عبد العزيز ، يوسف ابراهيم و الحسيني ، محمد صفوت (٢٠٠٧م) المساحة ، دار المعرفة للنشر و التوزيع ، القاهرة ، مصر.
عبده ، وسام الدين محمد (٢٠١٢م) إدارة نظم المعلومات الجغرافية باستخدام البرنامج ArcGIS Desktop، مكتبة المتنبي ، الدمام، المملكة العربية السعودية.
عزيز ، محمد الخزامي (٢٠٠٤ م) نظم المعلومات الجغرافية: أساسيات و تطبيقات للجغرافيين – منشاة المعارف – الإسكندرية – مصر.
عودة ، سميح أحمد (٢٠٠٥م) أساسيات نظم المعلومات الجغرافية وتطبيقاتها في رؤية جغرافية، دار المسيرة العلمية للنشر و التوزيع ، عمان ، الأردن.
غازي ، ناصر محمد (٢٠٠٧م) القياس الالكتروني للمسافات و محطات الرصد المتكاملة ، دار المعرفة للنشر و التوزيع ، القاهرة ، مصر.
محسوب ، محمد صبري ، و الشريعي ، أحمد البدوي محمد (٢٠٠٥م) الخريطة الكنتورية: قراءة و تحليل ، القاهرة ، دار الفكر العربي ، القاهرة، مصر.
معوض ، معوض بدوي (٢٠٠٩م) مبادئ الاستشعار عن بعد و تدريباته العملية ، المنار للطباعة و النشر ، القاهرة ، مصر.

(١-٢) الكتب الرقمية:

داود ، جمعة محمد ، المدخل الي النظام العالمي لتحديد المواقع: الجي بي أس:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod_GPS_Ar_2010.pdf

داود ، جمعة محمد ، التحليل الاحصائي و المكاني باستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية ArcMap:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/GIS%20Training%20Vedio/Dawod%20Spatial%7C_Analysis%202009.pdf

داود ، جمعة محمد ، الدليل العربي لتعلم برنامج نظم المعلومات الجغرافية ArcMap:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/ArcMap%20Tutorial_Ar%20Gomaa%20Dawod.pdf

داود ، جمعة محمد ، الدليل العربي لتعلم برنامج صندوق الأدوات في نظم المعلومات الجغرافية Arc ToolBox:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/ArcMap%20Tutorial_Ar%20Gomaa%20Dawod.pdf

داود ، جمعة محمد (١٩٩٩م) الجيوديسيا و المثلثات ، مذكرة تعليمية لشعبة المساحة بالمعهد الفني الصناعي للري و الصرف و المساحة بالجيزة – مصر:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Geodesy%20Triangles%201999.pdf

داود ، جمعة محمد (١٩٩٩م) الحساب المساحي ، مذكرة تعليمية لشعبة المساحة بالمعهد الفني الصناعي للري و الصرف و المساحة بالجيزة – مصر:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Survey%20Computation%201999.pdf

مصطفي ، محمد رشاد الدين ، النظام العالمي لتحديد المواقع: الجي بي اس و استخداماته في المساحة و الجيوديسيا:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/GPS%20Ar%20Mohamed%20Rashad.pdf

مصطفي ، محمد رشاد الدين ، اسقاط الخرائط :
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Map%20Projection%20Dr%5E_Rashad.pdf

مصطفي ، محمد رشاد الدين ، المساحة الجوية التصويرية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%20Photogrammetry%5E_Ar.pdf

مصطفي ، محمد رشاد الدين ، القياس الالكتروني للمسافات:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%20EDM%5E_Ar.pdf

مصطفي ، محمد رشاد الدين ، نظرية الاخطاء و تطبيقاتها في المساحة:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%20Errors%5E_Ar.pdf

مصطفي ، محمد رشاد الدين ، الارتباط بين نتائج الارصاد:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%20Corrlation%20Ar.pdf

مصطفي ، محمد رشاد الدين ، جبر المصفوفات وتصحيحات الارصاد المساحية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%20Matrices%5E_Ar.pdf

مصطفي ، محمد رشاد الدين ، علم الفلك والجيوديسيا:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%20Astronomy%20Ar.pdf

مصطفي ، محمد رشاد الدين ، اسقاط الخرائط:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Map%20Projection%20Dr%5E_Rashad%20Ar%202.pdf

مصطفي ، محمد رشاد الدين ، الترافرسات:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%20Traverses%20Ar.pdf

مصطفي ، محمد رشاد الدين ، ضبط الشبكات الجيوديسية بطريقة تغير الاحداثيات:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%20G%5E_Net%20Adjust%20Ar.pdf

مصطفي ، محمد رشاد الدين ، حساب المساحات وتقسيم الاراضي و تعديل الحدود:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%20Areas%20Ar.pdf

مصطفي ، محمد رشاد الدين ، حساب الحجوم و الكميات في الهندسة المدنية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%20Volumes%20Ar.pdf

مصطفي ، محمد رشاد الدين ، الطرق الدقيقة لرصد الزوايا الافقية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%5E_Horizontal%5E_Angles%20Ar.pdf

مصطفي ، محمد رشاد الدين ، المنحنيات الافقية البسيطة و المركبة و العكسية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%5E_Horizontal%5E_Curves%20Ar.pdf

مصطفي ، محمد رشاد الدين ،المنحنيات الرأسية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%5E_Vertical%5E_Curves%20Ar.pdf

مصطفي ، محمد رشاد الدين ، مسلحة الانفاق و المناجم:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%5E_Tunnel%5E_Survey%20Ar.pdf

مصطفي ، محمد رشاد الدين ،حساب تحركات المنشئات:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Prof%5E_Rashad%5E_Structure%5E_Monitoring%20Ar.pdf

حموي ، هيثم (١٩٩٧م) مدخل إلي جيوديسيا الأقمار الصناعية ونظام التوضع العالمي GPS:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%20Hamaoy%2097.pdf

الشمري ، أحمد ، نظم المعلومات الجغرافية من البداية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GIS%20FROM%20START%20A_Shamry.pdf

عبده ، وسام الدين محمد ، نظم المعلومات الجغرافية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GIS%20Dr_Wesam.pdf

العنسي ، فواز أحمد ، تعلم البرنامج المساحي Auto Disk Land Development:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Land%20Development%20Training.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) المساحة للهندسة المدنية ، مقرر دراسي للكليات التقنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Surveying%20for%20Civil%20College.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) المساحة التصويرية ١ ، مقرر دراسي للكليات التقنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Photogrammetry%201%20sur106.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) المساحة التصويرية ٢ ، مقرر دراسي للكليات التقنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Photogrammetry%202%20sur212.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) المساحة الأرضية ١ ، مقرر دراسي للكليات التقنية، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Plane%20Surv%201%20Intro%20sur101.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) المساحة الأرضية ٢ ، مقرر دراسي للكليات التقنية، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Plane%20Surv%202%20Level_Sec%20sur104.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) المساحة الأرضية ٣ ، مقرر دراسي للكليات التقنية، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Plane%20Surv%203%20sur209.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) المساحة الجيوديسية ، مقرر دراسي للكليات التقنية، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Geodetic%20Survey%20sur211.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) الحساب المساحي ١ ، مقرر دراسي للكليات التقنية، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Surv%20Calculation%201%20sur103.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) الحساب المساحي ٢ ، مقرر دراسي للكليات التقنية، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Surv%20Caculation%202%20sur107.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) الحساب المساحي ٣ ، مقرر دراسي للكليات التقنية، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Surv%20Drawing%203%20sur208.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) الرسم المساحي ٢ ، مقرر دراسي للكليات التقنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Surv%20Drawing%202%20sur105.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) الرسم المساحي ٣ ، مقرر دراسي للكليات التقنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Surv%20Drawing%203%20sur208.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) نظم المعلومات الجغرافية ، مقرر دراسي للكليات التقنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%20College.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) الاستشعار عن بعد ، مقرر دراسي للكليات التقنية، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/RS%20College.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) نظم المعلومات الجغرافية ، مقرر دراسي للمعاهد الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GIS%20Institute.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) النظام العالمي لتحديد المواقع ، مقرر دراسي للمعاهد الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%20Institute.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) الاستشعار عن بعد ، مقرر دراسي للمعاهد الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%20Institute.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) الرفع التفصيلي العملي ، مقرر دراسي للمعاهد الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Cadastral%20Survey%20ssv2-4.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) المساحة الجيوديسية ٢ ، مقرر دراسي للمعاهد الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Geodetic%20Survey%20ssv2-6.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) أعمال الميزانيات: عملي ، مقرر دراسي للمعاهد الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Levelling%20ssv5.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) المساحة التصويرية ٢ ، مقرر دراسي للمعاهد الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Photogrammetry%201%20ssv2-8.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) المساحة التصويرية الرقمية ، مقرر دراسي للمعاهد الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Photogrammetry%202.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) التوقيع المساحي: عملي ، مقرر دراسي للمعاهد الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Setting%20out%201%20ssv2-1.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) التوقيع المساحي ٣ ، مقرر دراسي للمعاهد الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Setting%20out%202%20Curves.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) الحساب المساحي ١ ، مقرر دراسي للمعاهد الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Survey%20Calculation%201%20ssv1.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) الحساب المساحي ٢ ، مقرر دراسي للمعاهد الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Survey%20Calculation%202%20ssv2-2.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) الرسم المساحي ١: عملي ، مقرر دراسي للمعاهد الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Survey%20Drawing%201%20ssv2.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) الرسم المساحي ٢: عملي ، مقرر دراسي للمعاهد الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Survey%20Drawing%202%20ssv2-3.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) المدخل إلي المساحة: عملي ، مقرر دراسي للمعاهد الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Survey%20Intro%20ssv3.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) الرفع الطبوغرافي ٢ ، مقرر دراسي للمعاهد الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Topographic%20Survey%20ssv2-5.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) المساحة العملية ١ ، مقرر دراسي للمعاهد الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Prac_Survey_2%20for%20civil.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) المساحة العملية ٢ ، مقرر دراسي للمعاهد الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Prac_Survey_1%20for%20civil.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) حساب و حصر الكميات ، مقرر دراسي للمعاهد الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Quantities%203.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) حساب كميات بالحاسب الآلي ٢ ، مقرر دراسي للمعاهد الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Quantitities%20PC%201%20Excel.pdf

المؤسسة العامة لتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٥هـ) حساب كميات بالحاسب الآلي ٣ ، مقرر دراسي للمعاهد الفنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Quantitities%20PC%202%20Excel.pdf

(١-٣) ملفات تدريبية رقمية:

داود، جمعة محمد ، معجم مصطلحات الجي بي أس:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%7C_GPS%7C_Glossary%7C_Ar%7C_v1.pdf

داود، جمعة محمد ، معجم المصطلحات الجيوديسية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%20Geodetic%7C_Glossary%20Ar.pdf

داود، جمعة محمد ، تحميل ملفات المدارات الدقيقة لأقمار الجي بي اس Precise GPS Orbits:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%7C_GPS%7C_Orbits%7C_Ar.pdf

داود، جمعة محمد ، الجيويد وعلاقته بارتفاعات الجي بي أس:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/GPS%20and%20the%20Geoid%20Ar.pdf

داود ، جمعة محمد ،المرجع الجيوديسي و نظام إحداثيات جمهورية مصر العربية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Grids%7C_Datums%20of%20Egypt%20AR.pdf

داود ، جمعة محمد ، المرجع الجيوديسي و نظام إحداثيات المملكة العربية السعودية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Grids%7C_Datums%20of%20KSA%20AR.pdf

داود ، جمعة محمد ، استخدام أحدث تقنيات الرصد على الأقمار الصناعية لتحديد حجم المنخفضات لمشروعات إدارة الموارد المائية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers/Dawod%20GPS%5E_Depression%5E_Vol%202002.pdf

داود ، جمعة محمد ، دراسة الفروق بين مناسيب رخامات الري و مناسيب روبيرات المساحة لمحطات قياس مناسيب المياه علي نهر النيل:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers/Dawod%20Nile%20Gauges%20and%20MSL%202005.pdf

داود ، جمعة محمد ، دقة أجهزة النظام العالمي لتحديد المواقع GPS المحمولة يدويا وتطبيقاتها في بناء نظم المعلومات الجغرافية GIS:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Papers/Dawod%20Article%5E_GPS%20Handy%202008.pdf

سعد ، مني ، مجموعة محاضرات فيديو باللغة العربية عن نظرية الاخطاء وضبط الارصاد:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dr%5E_Mona%5E_Vedio/Dr%5E_Mona%5E_Error%5E_1.wmv

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dr%5E_Mona%5E_Vedio/Dr%5E_Mona%5E_Error%5E_2.wmv

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dr%5E_Mona%5E_Vedio/Dr%5E_Mona%5E_Error%5E_3.wmv

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dr%5E_Mona%5E_Vedio/Dr%5E_Mona%5E_Error%5E_4.wmv

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dr%5E_Mona%5E_Vedio/Dr%5E_Mona%5E_Error%5E_5.wmv

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dr%5E_Mona%5E_Vedio/Dr%5E_Mona%5E_Error%5E_6.wmv

سعد ، عبد الله أحمد ، ملف مضغوط يحتوي مجموعة محاضرات (١٥ ملف باوربوينت) باللغة الانجليزية عن اسقاط الخرائط Map Projection:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/MAP%20PROJECTION%20Dr%5E_A%5E_Saad.rar

النعماني ، ناصر ، محاضرات في المساحة:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Survey%20Oman%20All.pdf

النعماني ، ناصر ، محاضرات في الجي بي إس:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%20Oman%20All.pdf

معن ، حبيب ، جهاز المحطة الشاملة ماركة Lieca موديل ٣٠٣ :
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Lieca%201200%20TS%20Ar.ppsx

عقيل ، أحمد بن علوان ، فحص ومعايرة و استخدام المحطة الشاملة ماركة Lieca موديل ١٢٠٠:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/lieca%201200%20calibrat%20AR.pdf

طلبة ، علي ، خطوات عمل ميزانية شبكية من نموذج ارتفاعات رقمية DEM باستخدام برامج: جلوبال مابر ، اكسل ، أرك جي أي أس ثم تصدير النتائج الي برامج الاوتوكاد و الجوجل ايرث:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/GIS%20Training%20Vedio/Grids%20by%20DEM%20Ali_Tolba.pdf

محمد ، رمضان سالم ، أساسيات نظام الملاحة العالمي بالأقمار الصناعية GPS
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/GPS%20Basics%20Ramadan%20Ar.pdf

سلطان ، لهون ، اعدادات جهاز الجي بي أس ماركة Lieca موديل ١٢٠٠ سواء للرصد الثابت Static أو الرصد المتحرك Kinematic:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Learn%20GPS1200%20Setup%20Ar.pdf

علي ، صباح حسين ، استخدام برنامج Surfer في أعمال الخرائط الكنتورية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Surfer8-Part1-Sabah2009.pdf

صبرى ، محمد ، أجهزة GPS والملحق بها برامج GIS والتصحيحات المتاحة بالمملكة العربية السعودية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Trimble%20GPS%7C_GIS%20and%20Jedda%20Net.pdf

المغربي ، سعيد ، مجموعة (١٠) محاضرات تتناول أساسيات علم المساحة و أجهزته و تطبيقاته، كل محاضرة لها ملف pdf وملف فيديو وكلها في المجلد:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/browse.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Survey_Vedio

عزام ، هشام ، مجموعة كبيرة من دروس الفيديو التعليمية لشرح برنامج Arc GIS لنظم المعلومات الجغرافية في المجلد:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/browse.aspx/GIS%20Training%20Vedio/Hesham_Azam_Vedio

ملفين فيديو يشرحان طريقة تحويل البيانات من و الى جهاز المحطة الشاملة sokkia set-310 . والملفين من اعداد المهندس المرحوم / أشرف منتصر فلا تنسوه من دعاؤكم بالرحمة و المغفرة والجنة وأن يكون هذا العمل في ميزان حسناته ان شاء الله. الملف الاول: للتحويل من الكمبيوتر الي التوتال استاشن:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/GIS%20Training%20Vedio/TS%5E_Vedio/transfer%20from%20totalstation%20to%20pc.flv

الملف الثاني للتحويل من التوتال استاشن الي الكمبيوتر ، لكبر حجمه تم تجزأته الي ملفين:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/GIS%20Training%20Vedio/TS%5E_Vedio/transfer%20from%20pc%20to%20total%20station%20sokkia.part1.rar

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/GIS%20Training%20Vedio/TS%5E_Vedio/transfer%20from%20pc%20to%20total%20station%20sokkia.part2.rar

كتيب استخدام المحطة الشاملة ماركة Lieca موديل ٣٠٠
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Lieca_TS%20TPS300%20ar.pdf

دليل استخدام المحطة الشاملة – التوتال استاشن – من شركة ليكا موديل ١٨٠٠:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/GIS%20Training%20Vedio/Lieca%201800%20TS%20Ar.pdf

شرح لاستخدام برنامج Surfer لرسم الخرائط الكنتورية
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Surfer%207%20Ar.pdf

ثلاثة ملفات فيديو للمهندس محمد عبد الوهاب لشرح استخدام الجهاز المساحي المحطة المتكاملة Total Station من إنتاج شركة ليكا Lieca موديل ١٢٠٠ :

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Leica%201200_1.wmv

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Leica%201200_2.wmv

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Leica%201200_3.wmv

الغريني ، خالد ، شرح تشغيل جهاز المحطة الشاملة Total Station من إنتاج شركة سوكيا Sokkia اليابانية موديل R٣٠:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Sokkia%2030R%20Arabic.pdf

برنامج محاكاة (برنامج تدريبي) لاستخدام أجهزة الجي بي إس من إنتاج شركة ليكا السويسرية موديل ١٢٠٠:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Lieca%20GPS1200%20Simulat.zip

برنامج محاكاة (برنامج تدريبي) لاستخدام أجهزة المحطة الشاملة Total Station من إنتاج شركة ليكا السويسرية موديل ١٢٠٠:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Lieca%20TPS1200%20Simulat.zip

ملف باوربوينت (باللغة الانجليزية) عن التطورات الحديثة في أجهزة و طرق المساحة وهو مقدم من شركة سوكيا للأجهزة المساحية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/GIS%20Training%20Vedio/Trends%20in%20Surveying%202008.pps

ملف مضغوط يحتوي داخله علي ٨ ملفات فيديو تدريبية لشرح التعامل مع برنامج Arc Map:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/GIS%20Training%20Vedio/Arc%20GIS%20Vedio.rar

كتاب باللغة العربية عن نظم إسقاط الخرائط ، موجود في رابط كلية الهندسة بجامعة الملك سعود بالمملكة العربية السعودية إلا أنه مجهول المؤلف و التاريخ:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Map%20Projections%20%20Ar.pdf

برنامج Alltrans EGM2008 Calculator لحساب قيمة حيود الجيويد N من النموذج العالمي الحديث EGM2008:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/alltransegm2008.zip

برنامج بلغة البايسك للمهندس أشرف طلعت محمد لتحويل الإحداثيات المصرية من الإحداثيات الجغرافية إلي الإحداثيات المترية علي النظام المصري للخرائط المعروف باسم ETM علي المجسم الجيوديسي هلمرت ١٩٠٦:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Egypt%7C_Trans.rar

ستة دروس فيديو تعليمية لتعلم برنامج الخرائط الكنتورية الشهير Surfer 8. رابط المجلد الذي يضم كل الملفات:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/browse.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Surfer%7C_Vedio

كتيب المستخدم باللغة العربية لجهاز التوتال استاشن ليكا Lieca موديلات المجموعة TCR 300 (وتشمل موديلات ٣٠٣ ، ٣٠٥ ، ٣٠٧):
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Lieca%20TPS%20TC300%20Ar.rar

برنامج محاكاة تدريبي لجهاز التوتال استاشن ماركة سوكيا موديل MTS800 VIRGIN:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/Simulator%7C_Sokkia%7C_MTS800.rar

برنامج TatuGIS Calculator لتحويل الاحداثيات بين المراجع الجيوديسية و العالمية:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/TatukGIS%7C_CAL%7C_1%7C_2%7C_3.rar

مجموعة من ملفات الليسب Lisp المفيدة لبرنامج الاوتوكاد (المهندس أحمد البربري) تشمل عدة تطبيقات منها علي سبيل المثال: حساب المساحة ، ملائمة زوايا الخطوط ، اضافة الاحداثيات ، تغيير مقياس خط ، التحويل بين وحدات القياس ، عمل جدول للاحداثيات ، ترقيم النقاط ، عمل شعاع بزاوية ، حساب منحنيات الطرق، رسم شبكة احداثيات ..... الخ:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/AutoCAD%7C_Lisps.rar

ملفين لشرح خطوات التعامل مع جهاز المحطة الشاملة Total Station من شركة سوكيا موديلات ٣١٠ - ٥١٠ – ٦١٠ ، وكلاهما مو موقع المهندسين العرب. الملف الاول للمهندس محمد العيسوي الدسوقي ابو سليم:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/TS%20Sokkia_510_A.pdf

الملف الثاني من مكتب النور لخدمات الكمبيوتر:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/TS%20Sokkia_510_B.pdf

برنامج تشغيل محطة الرصد Nikon :
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%5E_TS%5E_Hany%5E_Zakaria/arabic%20Nikon%20NPL%20632%20%5EJ%20DTM%20352%20%5E0%20NIVO%20C.pdf

شرح استخدام Controller Software Trimble SCS900 Site الخاص بأجهزة الجي بي أس ترمبل:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%5E_TS%5E_Hany%5E_Zakaria/Arabic%20Trimble%20SCS%20900.pdf

الاستخدام السريع لبرنامج Professional TerraSyne Trimble الخاص بأجهزة الجي بي أس (ترمبل) المخصصة لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية:

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%5E_TS%5E_Hany%5E_Zakaria/arabic%20trimble%20Terrasync%20for%20GIS%20applications.pdf

كتالوج الاستخدام لبرنامج Trimble Survey Controller الخاص بأجهزة التوتال استاشن ترمبل:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%5E_TS%5E_Hany%5E_Zakaria/arabic%20trimble%20Total%20Station%20with%20ACU.pdf

دليل الاستخدام السريع لجهاز التوتال استاشن ترمبل:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%5E_TS%5E_Hany%5E_Zakaria/arabic%20trimble%20Total%20Station%20with%20TCU%20.pdf

برنامج تدريب (محاكاه) لجهاز التوتال استاشن ترمبل موديل M3:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%5E_TS%5E_Hany%5E_Zakaria/Trimble%20TS%5E_M3%20Simulator%5E_V1.0.exe

لكيفية تنصيب و استخدام برنامج التدريب (المحاكاه) لجهاز التوتال استاشن ترمبل موديل M3:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%5E_TS%5E_Hany%5E_Zakaria/Trimble%20TS%5E_M3%20Simulator.pdf

برنامجين تدريب (محاكاه) لجهاز التحكم الخاص بأجهزة الجي بي أس ترمبل موديل TSC v 12.44:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%5E_TS%5E_Hany%5E_Zakaria/Trimble%20TSCv12%5E_44%20Installation%20Emulator.exe

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%5E_TS%5E_Hany%5E_Zakaria/Trimble%20TSCv12%5E_44%20Language%20Pack%20Emulator%20English.exe

ملف مضغوط (zip file) يحتوي برنامج DXF Works v 1 الخاص بتحويل ملف أوتوكاد الي ملف نقاط بصيغة الاكسل ، ويحتوي شرح باللغة العربية :
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Arabic%20Surveying%20Materials/GPS%5E_TS%5E_Hany%5E_Zakaria/dxf%20works%201%20to%20Excel.zip

مجموعة من الملفات التدريبية لشرح أجهزة المساحة: المحطة الشاملة "التوتال استاشن" لعدد من الشركات و الموديلات في المجلد:

https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=4&id=259CB4F889EAEB3%212333#cid=0259CB4F889EAEB3&id=259CB4F889EAEB3%212333&sc=documents

كتيب الميدان لموديلات TS02/TS06/TS09 :
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=1&id=259CB4F889EAEB3%212333#

كتيب الميدان لموديل TPS 1100 :
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=5&id=259CB4F889EAEB3%212333#

كتيب الميدان لبرمجيات التطبيقات المساحية لموديل TPS 1100 :
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=5&id=259CB4F889EAEB3%212333#

شرح و معايرة موديل TPS 1200 :
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=5&id=259CB4F889EAEB3%212333#

الدليل التشغيلي لموديل TPS 1200 :
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=5&id=259CB4F889EAEB3%212333#

كتيب الميدان لموديلات TCA 1800 / TC 1800 / T 1800 :
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=5&id=259CB4F889EAEB3%212333#\

الدليل التشغيلي لموديلات المجموعة TPS 400 وخاصة موديل TPS 407 :
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=5&id=259CB4F889EAEB3%212333#

ملف فيديو باللغة العربية (١٢ ميجا) لشرح استيراد و تصدير البيانات لموديل TPS 1203 :
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=5&id=259CB4F889EAEB3%212333#cid=0259CB4F889EAEB3&id=259CB4F889EAEB3%212338&sc=documents\

أربعة ملفات فيديو باللغة الانجليزية (كل ملف ١٦ ميجا) كعرض عام لأجهزة شركة ليكا و مميزاتها و تطبيقاتها :

https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=5&id=259CB4F889EAEB3%212333#

https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=5&id=259CB4F889EAEB3%212333#cid=0259CB4F889EAEB3&id=259CB4F889EAEB3%212335&sc=documents

https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=5&id=259CB4F889EAEB3%212333#cid=0259CB4F889EAEB3&id=259CB4F889EAEB3%212336&sc=documents

https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=5&id=259CB4F889EAEB3%212333#cid=0259CB4F889EAEB3&id=259CB4F889EAEB3%212337&sc=documents

كتاب تشغيل موديلات DTM 800 / DTM801 /DTM700 / NPL820 / NPL821 :
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=5&id=259CB4F889EAEB3%212333#

كتاب تشغيل موديلات المجموعة W-800 :
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=5&id=259CB4F889EAEB3%212333#

دليل تشغيل مجموعة R-100 وخاصة موديلات R-115 / R-125 / R-135 / R-122 / R-123 :
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=5&id=259CB4F889EAEB3%212333#

دليل تشغيل موديلي SET 510 / SET 610 :
https://skydrive.live.com/view.aspx?cid=0259CB4F889EAEB3&resid=259CB4F889EAEB3%212348

دليل تشغيل موديل TS 530 :
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=5&id=259CB4F889EAEB3%212333#

دليل تشغيل موديل TS Power Set :
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=5&id=259CB4F889EAEB3%212333#

ملف مضغوط يحتوي مجموعة من ملفات الشرح لموديل TS 211 D :
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=5&id=259CB4F889EAEB3%212333#

ملف مضغوط يحتوي مجموعة من ملفات الشرح لموديل TS 225 :
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=5&id=259CB4F889EAEB3%212333#

توقيع نقاط ترافرس باستخدام موديل Topcon 702 :
https://skydrive.live.com/view.aspx?cid=0259CB4F889EAEB3&resid=259CB4F889EAEB3%212353

دليل تشغيل موديل Topcon 753 :
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&id=259CB4F889EAEB3%212333#

ملف مضغوط يحتوي مجموعة من ملفات الشرح لموديل TS 603 :
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=4&id=259CB4F889EAEB3%212333#

ملف مضغوط يحتوي مجموعة من ملفات الشرح لموديل TS 710 :
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=4&id=259CB4F889EAEB3%212333#

كتالوج استخدام جهاز Trimble Survey Controller :
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=4&id=259CB4F889EAEB3%212333#

كتالوج استخدام جهاز SCS 900 وجهاز SPS 730 :
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&uc=4&id=259CB4F889EAEB3%212333#

كتيب للمهندس / عمرو عبد الله يشرح بالصور خطوات استخدام جهاز الجي بي أس موديل Viva من شركة ليكا السويسرية:
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3#cid=0259CB4F889EAEB3&id=259CB4F889EAEB3%212488

(٢) المراجع الأجنبية:

(٢-١) الكتب المطبوعة:

Anderson, J. and Mikhail, E. (1981) Surveying: Theory and practice, 7th edition, McGraw-Hill, Boston, USA.

Mikhail, E., and Ackerman, F. (1976) Observations and least squares, University Press of America Inc., Boston, USA.

(٢-٢) الكتب الرقمية:

Building Surveys:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Building%20Surveys.pdf

Plane and geodetic surveying:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Plane%20and%20Geodetic%20Surveys.pdf

Quantity surveying practice:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Quantity%20Surveying.pdf

Survey Markers and Monumentation:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/USArmy%20Survey%20Markers%20Monumentation.pdf

Adjustment computations – Spatial data analysis:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Adjustment%20Computations.rar

Functional data analysis:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Functional%20Data%20Analysis.rar

Fundamental of GPS receivers – A software approach:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Fundamentals%20of%20GPS%20Receivers.rar

Manual of geo-spatial science and technology:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Geospatial%20Science%20and%20Technology.rar

Physical geodesy (by Helmut Moritz and Hofmann-Wellenhof):
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Physical%20Geodesy.rar

Science of Geodesy: Advances and future directions
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Books%5E_En/Science%20of%20Geodesy%20Part%5E_1%202010.pdf

Handbook of Geomatics
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Books%5E_En/Handbook%20of%20Geomatics%202010.pdf

GPS and GIS – An introduction:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/GPS%20and%20GIS.pdf

Geodesy , Geoid, and Earth Observations
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Books%5E_En/Gravity%5E_Geoid%20IAG%5E_Symp%202008.rar

Engineering Surveying (2 parts):
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Books%5E_En/Engineering%20Surveying%206%202007.part1.rar

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Books%5E_En/Engineering%20Surveying%206%202007.part2.rar

Algebraic Geodesy and Geo-informatics:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Books%5E_En/Algebraic%20Geodesy%202010.pdf

Mastering AutoCAD 2011 and AutoCAD LT 2011 (2 parts):
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Books%5E_En/AutoCAD%202011.part1.rar

http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Books%5E_En/AutoCAD%202011.part2.rar

Surveying and Charting of the Seas:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Books%5E_En/Surveying%20of%20Seas%201984.pdf

Principles of the gravitational method:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Gravitional%20Methods.pdf

Satellite geodesy:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Satellite%20Geodesy.rar

Understanding GPS – Principles and applications:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Understanding%20GPS.rar

GPS – Theory, Algorithms, and applications:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/GPS%20Theory%20and%20Algorithms.pdf

Sea level rise – History and consequences:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Sea%20Level%20Rise.pdf

GPS, Inertial navigation, and integration:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/GPS%20INS%20and%20Integrationn%202001.pdf

The role of VLBI in astrophysics, astronometry, and geodesy:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/VLBI%20in%20Geodesy.pdf

Wavelet in geodesy and geodynamics:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Wavelets%20in%20geodesy%20and%20geodynamics.pdf

US Army Corp of Engineers, Geodetic Survey Manual:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/USA%7C_Army%7C_Engineers%7C_Manuals/USA%20Army%20Geodetic%20Surveys%202002.pdf

US Army Corp of Engineers, Topographic Survey Manual:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/USA%7C_Army%7C_Engineers%7C_Manuals/USA%20Army%20Topo%20Surveys%2094.pdf

US Army Corp of Engineers, Hydrographic Survey Manual:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/browse.aspx/Books%7C_En/USA%7C_Army%7C_Engineers%7C_Manuals/Hydro%7C_Survey

US Army Corp of Engineers, GPS Survey Manual:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/browse.aspx/Books%7C_En/USA%7C_Army%7C_Engineers%7C_Manuals/GPS%7C_Survey?uc=3

US Army Corp of Engineers, Photogrammetry Manual:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/browse.aspx/Books%7C_En/USA%7C_Army%7C_Engineers%7C_Manuals/Photogrammetry

Adjustment Computations: Spatial Data Analysis:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.office.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Adjustment%20Computations%202006.pdf

Intelligent positioning: GIS-GPS unification:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/GPS%7C_GIS%20Unification.pdf

A primer if GIS – Fundamental geographic and cartographic concepts:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/A%20Primer%20of%20GIS.rar

GIS data sources:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/GIS%20Data%20Sources.pdf

Innovations in GIS:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Inovvations%20in%20GIS.rar

Practical GIS analysis:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Practical%20GIS%20Analysis.rar

Spatial analysis and GIS:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Spatial%20Analysis%20and%20GIS.rar

Stat analysis, GIS, and RS applications in the health sciences:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Stat%7C_Analysis%20GIS%20and%20RS.rar

Uncertainty in RS and GIS:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Uncertainty%20in%20RS%20and%20GIS.pdf

Uncertainty in geographic information:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Uncertanity%20in%20Geo%7C_Information.pdf

Digital Photogrammetry – A practical course:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Digital%20Photogrammetry.pdf

Field models in remote sensing:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/Field%20Models%20RS.pdf

Remote sensing digital image analysis:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/RS%20Digital%20Image%20Analysis.rar

Image processing for remote sensing:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Books%7C_En/RS%20Image%20Processing.pdf

Canadian GPS Guide:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Canada_GPS_Guide.pdf

GPS by USA Army Engineers 2003
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/GPS%20by%20US%20Army%20Engineers%202003.pdf

WGS84 Final Definition 200
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/WGS84%20Final%20Defintion%202000.pdf

USA Army Engineers on Structural Deformation Surveys 2002:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/USA%20Army%20Structural%20Deformation%20Surveying%202002.pdf

USA Army Engineers on Geodetic and Topographic Surveys 2002:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/USA%20Army%20Topo_Geodetic%20Surveys%202001.pdf
USA Army Engineers on Topographic Surveys 2001:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/USA%20Army%20Topographic%20Surveys%202001.pdf

DMA: Geodesy for the layman 1983:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/DMA%20Geodesy%20for%20Layman%20Tutorial%201983.pdf

Canada: Fundamentals of remote sensing
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Remot%20Sensing%20Fundamentals.pdf

Dana Tutorial on Coordinate Systems:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dana%20Tutorial%20on%20Coordinate%20Systems.pdf

Dana Tutorial on Map Projection:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dana%20Tutorial%20on%20Map%20Projection.pdf

Dana Tutorial on Geodetic Datums:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dana%20Tutorial%20on%20Geodetic%20Datums.pdf

Australia ICSM Geodetic Standards v.1.6 2004:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/Australia%20ICSM%20Geodetic%20Standards%20V1-6%202004.pdf

Australian Standards on Control Survey 2000:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/Australian%20Standards%20of%20Control%20Survey%202000.pdf

Canada Guidlines for RTK_GPS Surveys:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/Canada%20Guidelines_for_rtk_gps_surveys.pdf

Canada Positioning Standards 1996:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/Canada_Positioning%20Standards%201996.pdf

New Zealand Geodetic Network Design Specifications 2002:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/NZ%20Geod_Net%20Design%20Spec%202002.pdf

New Zealand Geodetic Survey Standards 2003:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/NZ%20Geodetic%20Survey%20Standards%202003.pdf

New Zealand Physical Network Design Specifications 2003:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/NZ%20Phys_Net%20Design%20Spec%202003.pdf

New Zealand Specifications of First-order Levelling GPS 2003:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/NZ%20secification%20of%20First_order%20GPS%202003.pdf

US California Geodetic Network GPS Specifications 1996:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/US%20California%20Horizontal%20Geodetic%20Net%20Specifications%201994.pdf

US FGCC Geodetic Survey Standards 1984:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/US%20FGCC%20Geodetic%20Survey%201984.pdf

US FGCC GPS Standards 1989:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/US%20FGCC%20GPS%20Standards%201989.pdf

US FGCC Levelling Specifications 1995:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/US%20FGCC%20Levelling%201995.pdf

US Geospatial Positioning Standards 1998:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/US%20Geospatial%20Positioning%20Standards%201998.pdf

US North Carolina GPS Standards 2006:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/US%20North%20Calorina%20GPS%20Standards%202006.pdf

USA Army Geodetic Surveys 2002:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/USA%20Army%20Geod_Surveys%202002.pdf

USA Army Topographic Surveys 1994:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/USA%20Army%20Topo%20Surveys%201994.pdf

US Army Cadastral GPS Standards 2001:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/USA%20Cadastral%20GPS%20Survey%20Standards%202001.pdf

USA Highway Dept. Standards for GPS 2005:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/USA%20Highway%20Dept%20Standards%20GPS%202005.pdf

Global map specifications 2005
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/Global%20Map%20Specifications%202005.pdf

USGS Cadastral map standards
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/USGS%20Cadastral%20Map%20Standards%202003.pdf

USGS Orthophoto standards
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/USGS%20OrthoPhoto%20Standards.pdf

USA Geological map standards
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/USA%20Geologic%20Map%20Standards%202006.pdf
USGS Map accuracy standards
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/USGS%20Map%20Accuracy%20Standards.pdf

USGS DTM standards:
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/USGS%20DTM%20Standards.pdf

USGS Map standards overview
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/USGS%20Map%20Standards%20Overview.pdf

USGS Topographic map symbols overview
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/USGS%20Topographic%20Map%20Symbols%20Overview.pdf

Australia Specifications on MSL monitoring systems
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/Australia%20Spec%20on%20MSL%20moitoring%20systems.pdf

Australia Specifications on tide gauge stations
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/Australia%20Spec%20on%20tide%20guage%20stations.pdf

NZ Hydrographic standards 2001
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/Hydro_Stand%20New%20Zeland%202001.pdf

USA Hydrographic standards 2007
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/US%20Hydrographic%20Specs_2007.pdf

USA Army Photogrammetric standards 2002
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Standards%20in%20Surveying/USA%20Army%20Photog_Standards%202002.pdf

(٢-٣) البحوث باللغة الانجليزية:

Dawod, G., Mirza, M., and Al-Ghamdi, K., 2011, Simple precise coordinates transformations for geomatics applications in Makkah metropolitan area, Saudi Arabia, the International FIG Working Week 2011, Marrakech, Morocco, May 18-22.
http://www.fig.net/pub/fig2011/papers/ts08f/ts08f_dawod_mirza_et_al_4953.pdf

Dawod, G., and Koshak, N., 2011, Developing GIS-Based Unit Hydrographs for Flood Management in Makkah Metropolitan Area, Saudi Arabia, Journal of Geographic Information System, V. 3, No. 2, pp. 153-159.
http://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?paperID=4667

Mirza, M., Dawod, G., and Al-Ghamdi, K., 2011, Accuracy and Relevance of Digital Elevation Models for Geomatics Applications - A case study of Makkah Municipality, Saudi Arabia, International Journal of Geomatics and Geosciences, V. 1, No. 4, pp. 803-812..
http://ipublishing.co.in/jggsvol1no12010/EIJGGS2040.pdf

Dawod, G., Mirza, M., and Al-Ghamdi, K., 2011, Assessment of several flood estimation methodologies in Makkah metropolitan area, Saudi Arabia, Arabian Journal of Geosciences, DOI 10.1007/s12517-011-0405-5, Published online October, 6.
http://www.springerlink.com/content/v822671q0813326x/fulltext.pdf

Dawod, G., Mirza, M., and Al-Ghamdi, K., 2011, GIS-based spatial mapping of flash flood hazards in Makkah city, Saudi Arabia, Journal of Geographic Information System, V. 3, No. 3, pp. 217-223.
http://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?paperID=6545

Koshak, N. and Dawod, G., 2011, A GIS morphometric analysis of hydrological basins for flood management within Makkah Metropolitan Area, International Journal of Geomatics and Geosciences, V. 2, No. 2, pp. 544-554.
http://www.ipublishing.co.in/jggsvol1no12010/voltwo/EIJGGS3046.pdf

Al-Ghamdi, K,. Elzahrany, R,. Mirza, M. and Dawod , G., 2012a, Impacts of Urban Growth on Flood Hazards in Makkah City, Saudi Arabia, International Journal of Water Resources and Environmental Engineering, V 4, No. 2, pp. 23-34.
http://www.academicjournals.org/ijwree/PDF/pdf%202012/Feb/Al-Ghamdi%20et%20al.pdf

Dawod, G., Mirza, M., and Al-Ghamdi, 2012, GIS-based estimation of flood hazard impacts on road network in Makkah city, Saudi Arabia, Journal of Environmental Earth Science, DOI 10.1007/s12665-012-1660-9, Published on- line, April 12, 2012
http://www.springerlink.com/content/ct67073lw57x5960/fulltext.pdf?MUD=MP

Dawod, G., and Mohamed, W., 2009, Data management of different height systems within GPS/GIS integrated spatial technology, Middle East Spatial Technology Conference (MEST2009), December 7-9, Kingdom of Bahrain.
http://nwrc-egypt.academia.edu/GomaaDawod/Papers/827312/DATA_MANAGEMENT_OF_DIFFERENT_HEIGHT_SYSTEMS_WITHIN_GPS_GIS_INTEGRATED_SPATIAL_TECHNOLOGY

Dawod, G., Mohamed, H., and Ismail, S., 2010, Evaluation and Adaptation of the EGM2008 Geopotential Model along the Northern Nile Valley, Egypt: Case Study, ASCE Journal of Surveying Engineering, V. 136, No. 1, pp. 36-40, Feb. 2010.
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&sc=documents&id=259CB4F889EAEB3%211627

Dawod, G., 2008, Towards the redefinition of the Egyptian geoid: Performance analysis of recent global geoid models and digital terrain models, Journal of Spatial Science, V. 53, No. 1, pp. 31-42.
http://www.mappingsciences.org.au/journal/june_08.html

Dawod, G. and Mohamed, H., 2008, Estimation of Sea Level Rise Hazardous Impacts in Egypt within a GIS Environment, Proceedings of the Third National GIS Symposium in Saudi Arabia (on CD), Al-Khobar City, Saudi Arabia April 7 - 9.
http://www.saudigis.org/FCKFiles/File/11_E_GomaaDawod_KSA.pdf

Dawod, G., and Mohamed, H., 2008, Fitting gravimetric local and global quasi-geoids to GPS/levelling data: The role of geoid/quasi-geoid variations in Egypt, CERM, V. 30, No. 1 (January), pp. 233-244
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&id=259CB4F889EAEB3%211297

Mohamed, H., Dawod, G., and Ismail, S., 2007, Assessment of a cost-effective GPS data processing alternative in Egypt utilizing international on-line processing services, Journal of Al-Azhar University Engineering Sector (JAUES), V. 2, No. 12 (April), pp. 364-375.
http://nwrc-egypt.academia.edu/GomaaDawod/Papers/843855/ASSESSMENT_OF_A_COST-EFFECTIVE_GPS_DATA_PROCESSING_ALTERNATIVE_IN_EGYPT_UTILIZING_INTERNATIONAL_ON-LINE_PROCESSING_SERVICES

Ismail, S., Mohamed, H., and Dawod, G., 2007, Evaluation of River Nile high flood effects by Geographic Information System, Proceedings of the second national GIS symposium in Saudi Arabia (on CD), Al-Khobar City, Saudi Arabia, April 23-25.
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&id=259CB4F889EAEB3%211299

Dawod, G., 2007, New strategies in the utilization of GPS technology for mapping and GIS activities in Egypt, Civil Engineering Research Magazine (CERM), V. 29, No. 1 (Jan.), pp. 292-310.
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&id=259CB4F889EAEB3%211308

Dawod, G., and Ismail, S., 2005, Enhancing the integrity of the national geodetic data base in Egypt, Proceedings of the FIG working week and GSDI-8 International Conference, Cairo, Egypt, April 16-21.
http://www.fig.net/pub/cairo/papers/ts_13/ts13_06_dawod_ismail.pdf

Dawod, G., Meligy, M., and Mohamed, H., 2005, Assessment and modelling of sea level rise and metrological changes in Egypt, Ain-Shams First International Conference on Environmental Engineering (ASCEE-1), Cairo, Egypt, April 11-12, pp. 573-582.
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&id=259CB4F889EAEB3%211314

Dawod, G., 2005, Developing a precise geoid model for hydrographic surveying of the River Nile, Al-Azhar University Engineering Journal (AUEJ), V. 8, No. 1, January, pp. 96 - 107.
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&id=259CB4F889EAEB3%211309

Alnaggar, D., and Dawod, G., 1999, Efficiency of GPS techniques in national applications, Proceedings of the International Conference on Integrated Management of Water Resources in the 21st Century, Cairo, November 21-25, Volume II, pp. 741-752.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GPS%20in%20Nat%5E_Project%201999.pdf

Dawod, G., and Alnaggar, D., 2000a, Quality control measures for the Egyptian National Gravity Standardization Network, Proceedings of The Second International Conference on Civil Engineering, Helwan University, Cairo, April 1-3, pp. 578-587.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%5E_Papers/Dawod%20GPS%20in%20Nat%5E_Project%201999.pdf

Dawod, G., and Alnaggar, D., 2000b, Optimum geodetic datum transformation techniques for GPS surveys in Egypt, Proceedings of Al-Azhar Engineering Sixth International Engineering Conference, Al-Azhar University, September 1-4, Volume 4, pp. 709-718.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/Geodesy%20and%20GPS/Dawod%20GPS%7C_Trans%20in%20Egypt%202000.pdf

Dawod, G., 2001, The magnitude and significance of long-term sea level rise in Egypt from a geodetic perspective, Proceedings of the Eleventh International Conference on Environmental Protection, Alexandria University, Alexandria, May 8-10, pp. 207-215.
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&id=259CB4F889EAEB3%211305

Dawod, G., and Mohamed, H., 2002, The Establishment of the First Modern Sea Level Monitoring System in Egypt, Proceedings of the Twelfth International Conference on Environmental Protection, Ain Shams University, Alexandria, May 14-16, pp. 12-23.
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&id=259CB4F889EAEB3%211306

Saad, A., and Dawod, G., 2002, A Precise Integrated GPS/Gravity Geoid Model for Egypt, Civil Engineering Research Magazine (CERM), Al-Azhar University, V.24, No. 1, Jun, pp.391-405.
http://nwrc-egypt.academia.edu/GomaaDawod/Papers/1494043/A_Precise_Integrated_GPS_Gravity_Geoid_Model_for_Egypt_2002

Dawod, G., 2003a, Proposed standards and specifications for GPS geodetic surveys in Egypt, Water Science Magazine, No. 33, April. pp. 33-39.
http://www.nwrc-egypt.org/nwrc/Water%20Science%20Magazin/Water%20Science%20PDF/33%20PDF/propsed%20standards%20and%20specifications.pdf

Dawod, G., 2003b, Modernization plan of GPS in 21st century and its impacts on surveying applications, Proceedings of Al-Azhar Seventh International Engineering Conference (CD No. 3), Al-Azhar University, Cairo, April 7-10.
http://nwrc-egypt.academia.edu/GomaaDawod/Papers/827198/MODERNIZATION_PLAN_OF_GPS_IN_21st_CENTURY_AND_ITS_IMPACTS_ON_SURVEYING_APPLICATIONS

Dawod, G., 2003c, Productive GPS topographic mapping for national development projects in Egypt, Proceedings of the First International Conference on Civil Engineering, Assiut University, Volume 2, pp. 246-253, October 7-8.
http://nwrc-egypt.academia.edu/GomaaDawod/Papers/822957/PRODUCTIVE_GPS_TOPOGRAPHIC_MAPPING_FOR_NATIONAL_DEVELOPMENT_PROJECTS_IN_EGYPT

Dawod, G., and Abdel-Aziz, T., 2003, Establishment of precise geodetic control networks for updating the River Nile maps, Proceedings of Al-Azhar Engineering Seventh International Conference (CD No. 3), Al-Azhar University, Cairo, April 7-10.
http://nwrc-egypt.academia.edu/GomaaDawod/Papers/822959/ESTABLISHEMENT_OF_A_PRECISE_GEODETIC_CONTROL_NETWORK_FOR_UPDATING_THE_RIVER_NILE_MAPS

Dawod, G., and El-Sammany, M., 2003, Efficiency of new solutions for surveying and mapping problems in integrated water resources management, Proceedings of the First International Conference on Civil Engineering, Assiut University, Volume 2, pp. 238-245, October 7-8.
http://nwrc-egypt.academia.edu/GomaaDawod/Papers/827206/EFFICIENCY_OF_NEW_SOLUTIONS_FOR_SURVEYING_AND_MAPPING_PROBLEMS_IN_INTEGRATED_WATER_RESOURCES_MANAGEMENT

Dawod, G., 1992a, A method for detecting no-check observations in GPS networks, Water Science Magazine, No. 12, October, pp.10-12.
http://www.nwrc-egypt.org/nwrc/Water%20Science%20Magazin/Water%20Science%20PDF/12%20pdf/A%20METHOD%20FOR%20DETECTING%20NO-CHECK.pdf

Dawod, G., 1992b, On the use of pseudo-Kinematic GPS satellite positioning technology in surveying reclaimed lands in Egypt, Proceedings of the First National Conference on Land Reclamation and Development in Egypt, Al-Minia University, Al-Minia, November 2-5, pp.237-246.
https://skydrive.live.com/?cid=0259cb4f889eaeb3&id=259CB4F889EAEB3%211312

Alnaggar, D., and Dawod, G., 1995a, Increasing the reliability of GPS geodetic networks, Proceedings of the First International Conference on Satellite Positioning Systems, Alexandria, December 12-13.
http://nwrc-egypt.academia.edu/GomaaDawod/Papers/827192/INCREASING_THE_RELIABILITY_OF_GPS_GEODETIC_NETWORKS

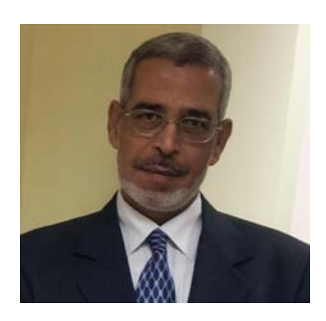
Dawod, G. (2001), The Egyptian National Gravity Standardization Network (ENGSN97), Bulletin d'information of the Bureau gravimétrique international (Bull. inf. - Bur. gravim. int.) ISSN 0373-9023, No. 88, pp. 35-38.
http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=14064021

Dawod, G., 2008, Accuracy of hand-held GPS receivers and their applications in building GIS Systems (in Arabic), GIS e-Magazine, No. 1, January, pp. 25-28.
http://nwrc-egypt.academia.edu/GomaaDawod/Teaching/25585/Hand-held_GPS_for_GIS_applications_in_ARABIC_

Dawod, G., 2010, Applications of GIS in environmental studies (in Arabic), EgyMatics, No. 1 (January 2010), pp. 3-17.
http://cid-0259cb4f889eaeb3.skydrive.live.com/self.aspx/GIS%20Training%20Vedio/EgyMatics%20V1_2010.pdf

Dawod, G., 2011, The geodetic Datum and Coordinate System of Egypt (in Arabic), EgyMatics, No. 2 (January 2011), pp. 3-9.
http://nwrc-egypt.academia.edu/GomaaDawod/Teaching/25555/Geodetic_Datum_of_Egypt_in_ARABIC_

نبذة عن المؤلف



الدكتور جمعة محمد داود من مواليد السويس بجمهورية مصر العربية في عام ١٩٦٢م (الموافق ١٣٨٣ هـ). حصل علي درجة البكالوريوس في الهندسة المساحية في عام ١٩٨٥م من كلية الهندسة بشبرا – جامعة بنها بمصر ، ودرجة الماجستير من قسم العلوم الجيوديسية والمساحة من جامعة ولاية أوهايو بالولايات المتحدة الأمريكية في عام ١٩٩١م، ودرجة الدكتوراه في عام ١٩٩٨م من كلية الهندسة بشبرا – جامعة بنها بمصر.

يعمل د. جمعة داود منذ عام ١٩٨٧م بمعهد بحوث المساحة بوزارة الموارد المائية والري بمصر، ويعمل أيضا منذ عام ٢٠٠٥م بجامعة أم القرى بمكة المكرمة بالمملكة العربية السعودية. حصل د. جمعة داود علي درجة أستاذ مشارك في عام ٢٠٠٤م وكذلك درجة الأستاذية في الهندسة المساحية في عام ٢٠٠٩م.

فاز د. جمعة داود بجائزة أفضل بحث في المساحة في مصر في أعوام ٢٠٠٥، ٢٠٠٦، ٢٠٠٧، ٢٠٠٩م كما تم اختياره في الموسوعة الدولية للعلوم والهندسة Who is Who للفترة ٢٠١١-٢٠١٢م.

نشر د. جمعة داود حتى الآن خمسة وأربعين بحثا في الهندسة المساحية منهم أثنتا عشر ورقة علمية في مجلات عالمية و مؤتمرات دولية في كل من الولايات المتحدة الأمريكية و انجلترا و ايطاليا و استراليا بالإضافة للنشر في مجلات و مؤتمرات في كلا من المملكة العربية السعودية و مملكة البحرين والمملكة المغربية و جمهورية مصر العربية.

د. جمعة داود متزوج من د. هدي فيصل الباحثة بمعهد بحوث المساحة وله ثلاثة أبناء مصطفي بكلية الهندسة بجامعة القاهرة و محمد بالثانوية العامة و سلمي بالصف الخامس الابتدائي.

حج د. جمعة داود بيت الله الحرام أربعة مرات وأعتمر عدة مرات.